

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh okna železničního kolejového vozidla pro přepravu osob  
Windows design of railway tracked vehicles for passenger transport

Student:

Bc. Veronika Mužná

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Veronika Mužná**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Návrh okna železničního kolejového vozidla pro přepravu osob**  
**Window Design of Railway Tracked Vehicle for Passenger Transport**

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte konstrukční návrh bočního spouštěcího okna stanoviště řidiče. Okno bude zaskleno izolačním dvojsklem, bude vybaveno elektrickým pohonem a systémem aretace okna v jeho libovolné poloze.

### Výchozí parametry:

Světlost otvoru pro zabudování okna do bočnice vozu	850mm x 450mm (výška x šířka),
Hloubka spouštění okna	500mm,
Rychlost spouštění	0,1 m/s,

### Proveďte:

- rešerši stávajících řešení - zhodnocení stávajícího stavu (s ohledem na funkční a bezpečnostní požadavky kladené na okna kolejových vozidel, namáhání oken provozními vlivy, tepelné a akustické parametry oken),
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení doplněnou nezbytnými výpočty,
- projekční návrh kompletního řešení bočního spouštěcího okna stanoviště řidiče v návaznosti na okolní konstrukce,
- detailní konstrukční propracování řešení vedení, pohonu a mechanismu aretace okna včetně určených konstrukčních uzlů,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu min. 2xA0.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.  
KOLÁŘ J.: *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel* Skripta ČVUT 2009.  
DOUDA, HEPNER, KOLÁŘ : *Pozemní dopravní prostředky* , Skripta ČVUT 2009.  
KOPÁČEK J. : *Pohony a převody 1. vyd.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000, 211 s. ISBN 80-7078-806-2  
LENERT J.: *Pružnost a pevnost I. 1. vyd.* - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 140 s. : il. ISBN 80-7078-392-3  
Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.

Normy, vyhlášky UIC 564-1 , UIC 560, UIC 567-1,2 , UIC 566, UIC 660  
Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



---

doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 dst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2012



.....

plné jméno autora práce

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

MUŽNÁ, V. *Návrh okna železničního kolejového vozidla pro přepravu osob*: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 75 s. Vedoucí práce: Kovář, L.

Diplomová práce se zabývá okny osobních kolejových vozidel, konkrétně návrhem bočního spouštěcího okna stanoviště strojvedoucího s elektrickým pohonem. S ohledem na provozní podmínky jsou navrženy a popsány vybrané varianty bočního vedení, mechanismu spouštění a mechanismu aretace. Součástí detailních provedení jsou kontrolní výpočty vybraných konstrukčních uzlů. Vyprojektované spouštěcí okno je umístěno a upevněno v návaznosti na okolní konstrukci hrubé stavby a s ohledem na interiér vozu. V příloze práce se nachází výkresová dokumentace konečné sestavy a výrobní výkresy vybraných součástí.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

MUŽNÁ, V. *Windows design of railway tracked vehicles for passenger transport*: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machinery and Design, 2012, 75 p. Thesis head: Kovář, L.

This Master Thesis deals with the passenger windows of rail vehicles, specifically sliding side window of the train driver cab with electric drive design. With regard to the operating conditions are designed and selected variants described lateral, lifting mechanism and locking mechanism. The detailed design calculations are those of the selected design nodes. The designed window is installed and affixed in surrounding relation to the construction structural work and to the interior of the car. In the Annex of work there is the final assembly drawings and production drawings of selected components.

# OBSAH

<b>Seznam použitých značek a symbolů</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<i>Typy kolejových vozidel</i>	14
<i>Cíle diplomové práce</i>	15
<b>1 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ</b>	<b>16</b>
1.1 <i>Rozdělení</i>	16
1.2 <i>Zhodnocení</i>	20
<b>2 OKNA ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL</b>	<b>21</b>
2.1 <i>Účel</i>	21
2.2 <i>Výběr z norem</i>	21
2.3 <i>Funkční požadavky</i>	23
2.4 <i>Bezpečnostní požadavky</i>	23
2.5 <i>Namáhání oken provozními vlivy</i>	24
2.6 <i>Tepelné a akustické parametry</i>	25
2.7 <i>Požadavkový list</i>	28
<b>3 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ A MECHANISMŮ</b>	<b>30</b>
3.1 <i>Zvedací mechanismus a pohon</i>	30
3.2 <i>Boční vedení</i>	34
3.3 <i>Systém aretace</i>	37
<b>4 DETAILNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH UZLŮ</b>	<b>40</b>
4.1 <i>Okenní tabule</i>	40
4.2 <i>Boční vedení</i>	43
4.3 <i>Uchycení v hrubé stavbě</i>	43
4.4 <i>Dojezd</i>	50
4.5 <i>Madlo</i>	50
<b>5 VÝSUVNÝ MECHANISMUS S POHYBOVÝMI ŠROUBY</b>	<b>53</b>
5.1 <i>Část popisná</i>	53
5.2 <i>Část výpočtová</i>	58
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>71</b>

<i>Poděkování</i>	72
<b>7 POUŽITÁ LITERATURA</b>	<b>73</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>75</b>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

$D_{1TR}$	[mm]	velký průměr závitu matice
$D_{Dmetr1}$	[mm]	průměr díry pro šroub M6
$D_{Dmetr2}$	[mm]	průměr díry pro šroub M4
$E$	[MPa]	modul pružnosti oceli
$F_c$	[N]	celková síla působící na všechny matice
$F_{c2}$	[N]	celková síla působící na všechny matice při velkém zatížení
$F_{kr}$	[N]	kritická síla
$F_{o1min}$	[N]	minimální osová síla šroubu
$F_{o2min}$	[N]	minimální osová síla šroubu
$F_{ometr1}$	[N]	navržená osová síla ve šroubu
$F_{ometr2}$	[N]	navržená osová síla ve šroubu
$F_{setr}$	[N]	setrvačná síla okenní tabule
$F_{setr2}$	[N]	setrvačná síla okenní tabule při velkém zatížení
$G$	[N]	tíhová síla okenní tabule
$G_2$	[N]	tíhová síla okenní tabule při velkém zatížení
$H_1$	[mm]	nosná hloubka závitu
$I$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu
$L$	[mm]	volná délka šroubu
$L_{10}$	[10 <sup>6</sup> ot]	trvanlivost ložiska
$L_{10h}$	[hod]	trvanlivost ložiska
$M_{brzdný}$	[N·m]	brzdňý moment brzdy
$M_k$	[N·m]	kroutící moment
$M_{k1}$	[N·m]	kroutící moment pro jednu matici
$M_{TMmetr1}$	[N·m]	třecí moment pod hlavou šroubu M6
$M_{TMmetr2}$	[N·m]	třecí moment pod hlavou šroubu M4
$M_{TZmetr1}$	[N·m]	moment tření v závitu M6
$M_{TZmetr2}$	[N·m]	moment tření v závitu M4
$M_{Umetr1}$	[N·m]	utahovací moment M6
$M_{Umetr2}$	[N·m]	utahovací moment M4

$P_{hmetr1}$	[mm]	stoupání závitu M6
$P_{hmetr2}$	[mm]	stoupání závitu M4
$P_{SKF}$	[N]	axiální zatížení na ložisko
$R_{emetr1}$	[MPa]	mez pružnosti materiálu šroubu M6
$R_{emetr2}$	[MPa]	mez pružnosti materiálu šroubu M4
$R_{eTR}$	[MPa]	mez pružnosti materiálu pohybového šroubu
$T$	[N]	třecí síla mezi okenní tabulí a těsněním
$T_2$	[N]	třecí síla mezi okenní tabulí a těsněním při velkém zatížení
$W_{Kmetr1}$	[mm <sup>3</sup> ]	moment odporu průřezu proti krutu M6
$W_{Kmetr2}$	[mm <sup>3</sup> ]	moment odporu průřezu proti krutu M4
$W_{KTR}$	[mm <sup>3</sup> ]	moment odporu průřezu proti krutu Tr14
$d_{3metr2}$	[mm]	malý průměr závitu M4
$d_{3TR}$	[mm]	malý průměr závitu Tr14
$d_{metr1}$	[mm]	jmenovitý rozměr závitu M6
$d_{metr2}$	[mm]	jmenovitý rozměr závitu M4
$d_{TR}$	[mm]	jmenovitý rozměr závitu Tr14
$f_1$	[–]	koeficient tření mezi profilem hrubé stavby a konzolou
$f_M$	[–]	koeficient tření pod hlavou šroubu
$f_{tēs}$	[–]	koeficient tření mezi sklem a těsněním
$f_{TZ}$	[–]	koeficient tření v závitu
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení
$h$	[mm]	výška pera
$h_M$	[mm]	minimální výška matice
$h_{stah}$	[m]	hloubka stáhnutí okna
$i_M$	[–]	počet matic
$k$	[W/m <sup>2</sup> ·K]	součinitel prostupu tepla
$k_{Smetr1}$	[–]	statická bezpečnost M6
$k_{Smetr2}$	[–]	statická bezpečnost M4
$k_{STR}$	[–]	statická bezpečnost Tr14
$l$	[mm]	délka pera
$l_1$	[m]	tloušťka skla

$l_2$	[m]	mezera mezi skly
$m_{1/8OKNO}$	[kg]	hmotnost na jeden šroub upevňující pohybovou matici
$m_{\text{extrem}}$	[kg]	extrémní hmotnost působící na mechanismus
$m_{\text{okno}}$	[kg]	hmotnost okna
$m_R$	[kg]	hmotnost rámu
$n$	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky elektromotoru
$n_1$	$[\text{min}^{-1}]$	předpokládané otáčky závitové tyče
$n_{\text{CHODY}}$	[–]	počet chodů
$n_{\text{SKF}}$	$[\text{min}^{-1}]$	kontrolovaný počet otáček ložiska
$p$	[mm]	rozteč závitu
$P_1$	[W]	výkon elektromotoru
$p_{\text{DTR}}$	[MPa]	dovolený měrný tlak v závitech pohybového šroubu
$q$	$[\text{W}/\text{m}^2]$	hustota tepelného toku
$s_{\text{Kmetr1}}$	[mm]	průměr hlavy šroubu M6
$s_{\text{Kmetr2}}$	[mm]	průměr hlavy šroubu M4
$t$	[s]	dobu stažení (vytažení) okna
$t_2$	$[\text{°C}]$	teplota venkovního vzduchu
$t_{\text{RB}}$	$[\text{°C}]$	rosný bod
$t_{\text{S1}}$	$[\text{°C}]$	teplota vnitřního skla
$v$	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	skutečná rychlost vysouvání okna
$v_1$	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	zadaná rychlost vysouvání okna
$z$	[–]	potřebný počet závitů matice
$\alpha_1$	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$	součinitel prostupu tepla uvnitř kabiny
$\alpha_2$	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$	součinitel prostupu tepla vně vlaku
$\alpha_{\text{metr}}$	$[\text{°}]$	úhel profilu metrického závitu
$\alpha_{\text{TR}}$	$[\text{°}]$	úhel profilu trapézového závitu
$\eta$	[–]	účinnost převodu
$\eta_{\text{ulož}}$	[–]	účinnost zohledňující uložení pohybového šroubu
$\lambda_1$	$[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$	součinitel tepelné vodivosti skla
$\lambda_2$	$[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$	součinitel tepelné vodivosti plynu v prostoru mezi skly
$\sigma_{\text{redmetr1}}$	[MPa]	redukované napětí M6

$\sigma_{\text{redmetr2}}$	[MPa]	redukované napětí M4
$\sigma_{\text{redTR}}$	[MPa]	redukované napětí TR14
$\sigma_{\text{tmetr1}}$	[MPa]	namáhání v tahu M6
$\sigma_{\text{tmetr2}}$	[MPa]	namáhání v tahu M4
$\sigma_{\text{tTR}}$	[MPa]	namáhání v tahu TR14
$\tau_{\text{metr1}}$	[MPa]	smykové namáhání M6
$\tau_{\text{metr2}}$	[MPa]	smykové namáhání M4
$\tau_{\text{TR}}$	[MPa]	smykové namáhání TR14
$\varphi'_{\text{metr1}}$	[°]	redukovaný třecí úhel v závitu M6
$\varphi'_{\text{metr2}}$	[°]	redukovaný třecí úhel v závitu M4
$\varphi'_{\text{TR}}$	[°]	redukovaný třecí úhel v závitu Tr14
$\varphi_{\text{rel}}$	[%]	relativní vlhkost uvnitř kabiny
$\psi_{\text{metr1}}$	[°]	úhel stoupání závitu M6
$\psi_{\text{metr2}}$	[°]	úhel stoupání závitu M4
$\psi_{\text{TR}}$	[°]	úhel stoupání závitu Tr14
$\omega_1$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost závitové tyče

# ÚVOD

## Vývoj kolejové dopravy

Vznik kolejové železniční přepravy se pojí s rozvojem průmyslu v 18. století, kdy bylo potřeba dopravovat objemné náklady na velké vzdálenosti, hlavně z vnitrozemí do přístavů. Tehdy se jednalo o velice primitivní vozy na jednoduchých kolejích, pohon zajišťovalo koňské spřežení. Později byly koněspřežné dráhy využívány také pro přepravu osob, na našem území to byla významná trasa Linec – České Budějovice (1828). Kolejová železniční doprava se tedy stala téměř před dvěma sty lety běžnou součástí života všech vrstev obyvatel. Zásadní technický posun přinesl vynález parního stroje, který si nechal patentovat James Watt, který již měl vymyšlen i koncept parní lokomotivy. V roce 1829 vyslal George Stephenson na trať Liverpool – Manchester parní lokomotivu The Rocket, která dosahovala rychlosti 56 km/h. První elektrická lokomotiva byla uvedena do provozu v roce 1879 firmou Siemens, měla výkon 2,5 kW a nastartovala velice dlouhou a perspektivní éru elektrifikace železnic. Kolejový vůz se spalovacím motorem byl vystavěn v roce 1902 v Anglii. [1]

## Moderní železnice

V současnosti se s parními lokomotivami lze potkat jen v muzeu, ale elektrické a motorové vozy jsou stále velice preferovanou možností dopravy. Lze jmenovat mnoho předností kolejové dopravy před dopravou silniční. Znepokojující je hlavně fakt, že poptávka po ropě převyšuje nabídku a to, že spalování ropných produktů není ekologické a ani ekonomické. Tyto argumenty si uvědomuje dost lidí a dává přednost vlaku před automobilem. Nutno však podotknout, že v ČR mnoho cestujících odrazuje nekomfortní jízda zastaralými a nespolehlivými vozy. Statistika četnosti využívání železnice a důvod pro cestování jsou znázorněny na obrázku 0.1.

Vize slibné budoucnosti železnice předpokládá zvýšenou technickou náročnost na kolejové vozy – bezpečnost za vysoké rychlosti, automaticnost dílčích systémů a celkově komfort pro cestující. Dané požadavky spíše otázkou finančních možností různých států, vývojový sektor techniky je připraven uspokojit náročné požadavky.

### Jak často jezdíme v ČR vlakem



Méně než jednou měsíčně	53 %
Jednou až třikrát měsíčně	22 %
Jednou až třikrát týdně	13 %
Obvykle denně	12 %

### Jaký máme důvod pro cestu



Volnočasové aktivity	57 %
Služební cesty	10 %
Cesta do práce/školy	17 %
Ostatní důvody	16 %

Obr. 0.1 Statistiky oblíbenosti kolejové dopravy [2]

## TYPY KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Dopravní prostředky pohybující se po kolejích jsou:

- vozidla železniční,
- vozidla pouličních drah,
- vozidla metra,
- vozidla průmyslových drah,
- vozidla pozemních lanových drah,
- vozidla dvoucestná. [1]

Vozidla železniční se dále dělí na:

- vozidla pro příměstskou regionální dopravu,
- vozidla pro dálkovou osobní dopravu,
- vozidla pro vysokorychlostní osobní dopravu. [3]

Pro účely této práce jsou určeny železniční trakční vozidla pro příměstskou regionální dopravu a vozidla pro dálkovou osobní dopravu (obr.0.3). Rychlovlaky mají speciální technické požadavky, kterým nelze vyhovět při obvyklé konstrukci vozu – tlakotěsnost.



Obr. 0.3 Regionální vlaková jednotka 471 (City Elefant) [4]

## CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zadaným úkolem je navrhnout konstrukci bočního spouštěcího okna stanoviště strojvedoucího s elektrickým pohonem. Při konstrukci je třeba respektovat:

1. funkční a bezpečnostní požadavky kladené na okna kolejových vozidel,
2. namáhání oken provozními vlivy – tlakové rázy, přetížení,
3. tepelné a akustické parametry oken.

Jistá omezení budou patrně vyplývat z norem týkajících se kolejových vozidel, bezpečnostních skel nebo ergonomie pracoviště strojvedoucího. Zvláštní pozornost bude věnována také návrhu a výpočtu pohonu zvedání a spouštění okna. Bližší zadané parametry budou uváděny v příslušných kapitolách. Číselné hodnoty jsou zadány buď normami nebo firmou Siemens.

# 1 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ

## 1.1 ROZDĚLENÍ

Dle výrobců železničních komponentů lze vlaková okna rozdělit podle jejich účelnosti na okna:

- výklopná – rámová,
- výklopná – v pryži,
- polospouštěcí,
- spouštěcí,
- předsuvná,
- aretační,
- pevná. [5]

Jednotlivé typy budou dále podrobně popsány podle [5].

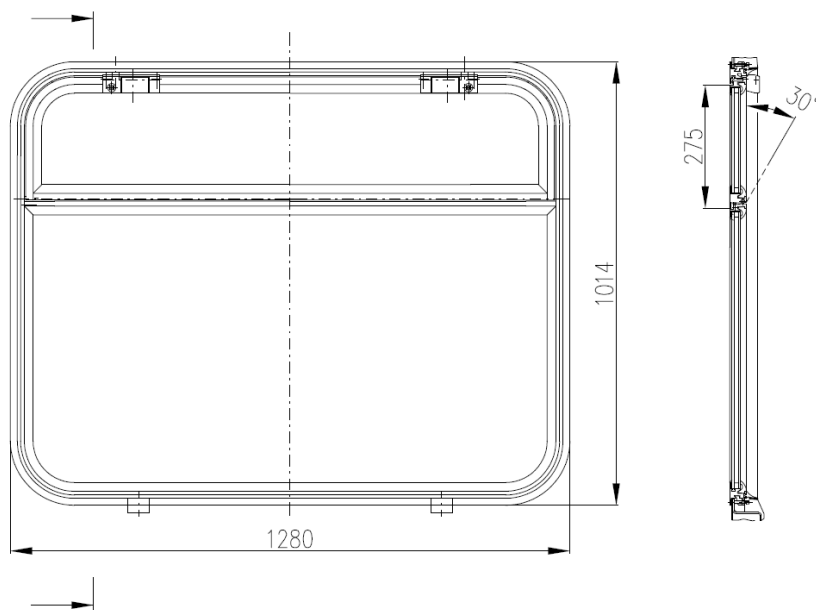
Podle tvaru:

- rovinná,
- zakřivená,
- sférická. [3]

### VÝKLOPNÁ OKNA

Skládají se z pevné dolní a výklopné horní části. Pevný i výklopný rám jsou vyrobeny ze slitin hliníku. Konstrukce by měla být navržena tak, aby minimalizovala tepelný můstek. Pevný rám je opatřen odvodňovacími otvory, které zabezpečují odvod zkondenzované vody z vnitřního prostoru rámu ven. Obvykle jsou rámy vyplněny izolačním dvojsklem (možno tónovat) a také jsou rámy povrchově upraveny nátěrem dle přání zákazníka. Zasklení do rámu je samozřejmě provedeno s použitím pryžových izolačních profilů. Výklopná část je opatřena madly a mechanickými zámkami.

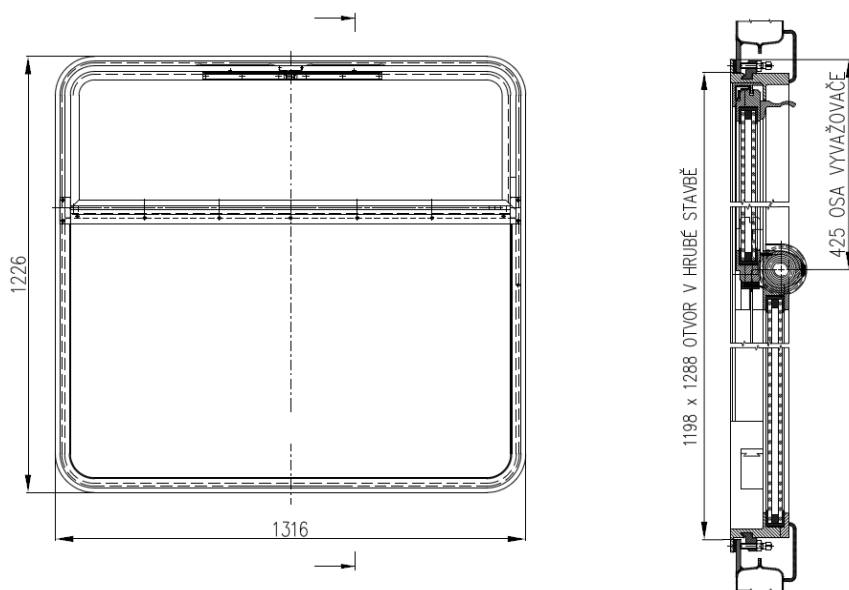




Obr. 1.1 Rámové výklopné okno [5]

## POLOSPOUŠTĚCÍ OKNA

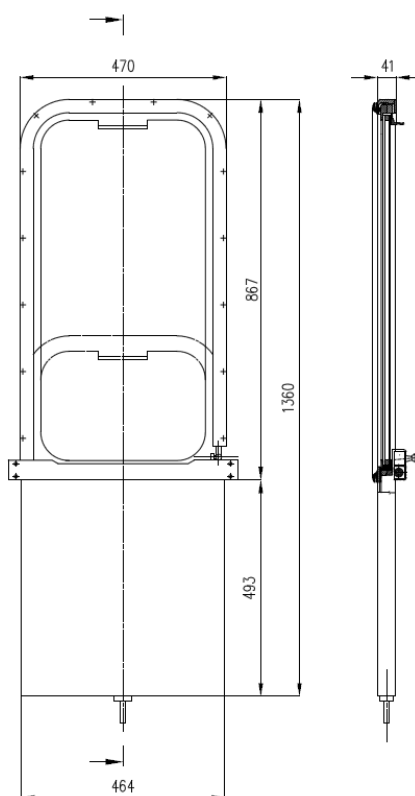
Skládají se ze spodní pevné a horní spouštěcí části, mezi nimiž je umístěn vyvažovač. Vyvažovač usnadňuje ovládání a zabezpečuje pohyblivou část v dané poloze. Kromě pevného rámu se zde nachází také rám vodící, který umožňuje pohyb nahoru a dolů. Použití skel a materiálů profilů je obdobné jako u oken výklopných.



Obr. 1.2 Polospouštěcí okno [5]

## SPOUŠTĚCÍ OKNA

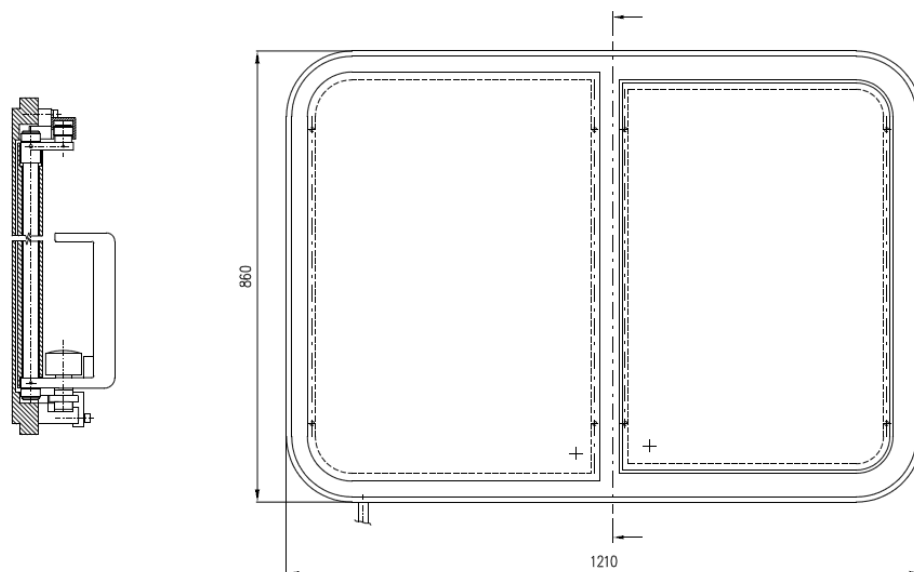
Plně spouštěcích oken se používá na stanovišti strojvedoucího. Skládá se z pevného rámu, posuvného rámu a pružinového vyvažovače. Vyvažovač má stejné funkční vlastnosti jako u polospuštěcího okna a pružina potřebná k vyvážení je regulovatelná. Rámy jsou vyrobeny z Al profilů a výplňové sklo je bezpečnostní kalené.



Obr. 1.3 Spouštěcí okno [5]

## PŘEDSUVNÁ OKNA

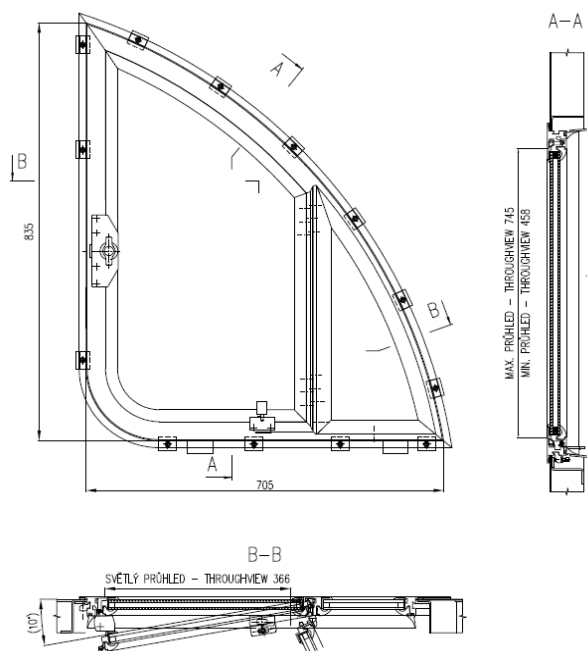
Skládá se z pevného rámu, pevné části a předsuvné části. Pohyblivá část se posunuje po horním a dolním vedení na pevné části. Otevření okna je zajištěno v jakékoliv poloze. Profily jsou také hliníkové a sklo dvojitě.



Obr. 1.4 Předsuvné okno [5]

## ARETAČNÍ OKNA

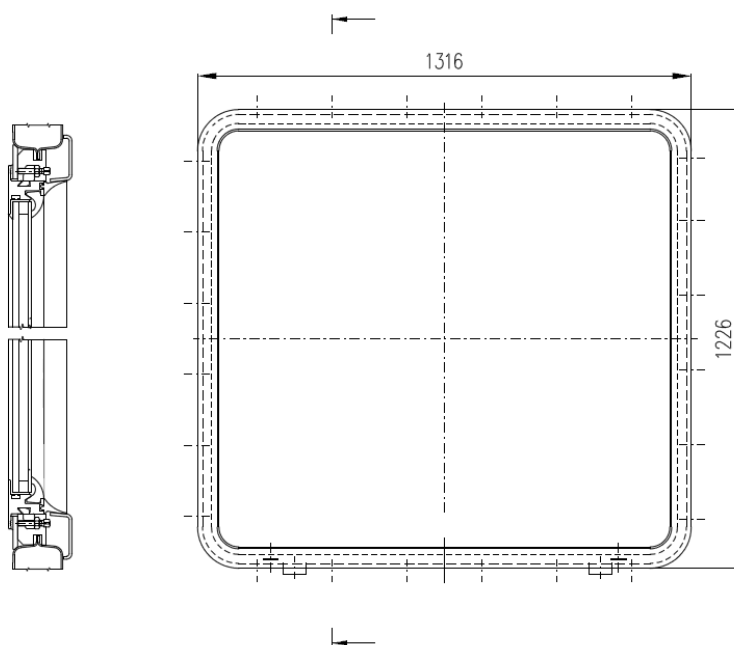
Toto je typ okénka do stanoviště řidiče. Skládá se z pevného rámu, pevné části a otočné části. Otočná část je při zavření zajištěna ručně ovládaným zámek. Profily a skla jsou obdobné jako u předešlých typů.



Obr.1.5 Aretační okno [5]

## PEVNÁ OKNA

Izolační dvojsklo je vsazeno do hliníkového rámu pomocí pryžových profilů. Sklo lze také zatmelit do bočnice vozu.



Obr. 1.6 Pevné okno [5]

## 1.2 ZHODNOCENÍ

Výše probrané typy oken jsou poněkud morálně zastaralé a navíc nenabízejí možnost elektrifikace ovládání. Spouštěcí okno u řidiče se svým vzhledem a účelem nejvíce podobá tomu, které bude řešeno v této diplomové práci.

## 2 OKNA ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

### 2.1 ÚČEL

Moderní vozy se vyznačují tím, že okna vlastně vůbec nepotřebují – tepelnou pohodu pasažérů zajišťuje klimatizace. Ovšem každý pasažér se rád podívá na krajinu, kterou vlak projíždí. Také je důležitý přirozený přívod denního světla. V neklimatizovaných vozech je účel jasný – větrání. V kabině strojvedoucího však výhled získává další opodstatnění, a to kontrolu situace za jízdy pomocí zpětného zrcátka a komunikaci s nádražním personálem.

### 2.2 VÝBĚR Z NOREM

#### TNŽ 28 5311 – OKNA OSOBNÍCH VOZŮ ROZCHODU 1235 mm

- „Konstrukce oken musí bránit průniku dešťové vody a vody z mycích zařízení.
- Konstrukce oken musí omezovat v maximální míře rosení podchlazených částí okna ve vnitřním prostoru i v dutině bočnice.
- Konstrukce oken nesmí mít místa, ve kterých by se mohla shromažďovat nečistota, nebo části poškozující kartáče čistícího mechanismu.
- Vnější plochy okenních tabulí pevných i pohyblivých částí oken se musí nacházet co nejblíže rovině vnějšího obloženého plechu bočnice.
- V zavřené i otevřené poloze žádná část okna nesmí přecházet vnější plochu bočnice o více než 8 mm.
- Těsnící vložky otevíracích se částí oken musí být z materiálů vzdorujících opotřebení a v případě potřeby musí být vyměnitelné nebo obnovitelné bez demontáže oken.
- Ovládání pohyblivých oken musí být pomocí madel, přičemž ovládací síla nesmí překročit 150 N.
- Výměna hlavních částí oken musí být možná bez větší demontáže dalších částí.
- Okna nesmí mít nebezpečné výstupky, hrany a ovládací prvky, které by mohly způsobit poranění cestujících.

- Materiály dílů oken musí mít dostatečně dobrou odolnost vůči vnějším vlivům při provozu, musí být vylehčeny a musí mít estetický vzhled. Pro zlepšení požadovaných vlastností je možno základní materiál opatřit vhodnou povrchovou ochranou.“ [6]

#### **TNŽ 28 5201 – KABINA STROJVEDOUCÍHO**

- „V každé boční stěně kabiny musí být nejméně jedno otevíratelné okno, které umožňuje strojvedoucímu výhled na vlak.
- Okno musí být zajistitelné v uzavřené poloze. Okno spouštěcí musí být zajistitelné proti spadnutí i v mezi poloze.
- Nejméně jedno boční okno na každé straně kabiny musí mít takovou světlost otvoru, aby po rozbití v případě nouze se dalo použít jako únikové. Součástí povinné výbavy kabiny je předmět (kladívko s ocelovými hroty) k rozbití skla únikového okna. Horní hrana okenního otvoru musí být nejméně ve výšce 1650 mm od podlahy a jeho šířka nejméně 450 mm.
- Všechna skla, která jsou použita v kabině a jejichž volná plocha je větší než 200 cm musí být tzv. bezpečnostní podle ČSN 70 1500 a ČSN 70 1550.
- Hladina hluku uvnitř kabiny při rychlostech do 160 km/hod musí být nižší než 78 dB.
- Relativní vlhkost vzduchu se má pohybovat v mezích 30-70 %.“
- Klimatizace má zajistit v kabině teplotu 18-23°C. [7]

#### **ČSN 13 129-1 - ŽELEZNIČNÍ APLIKACE - KLIMATIZACE PRO VOZIDLA HLAVNÍCH TRATÍ**

- „Teplota vnitřních povrchů okenních skel nesmí být nižší než 12 K pod průměrnou vnitřní teplotou. Teplota okenních rámců nesmí být 9 K pod průměrnou vnitřní teplotou.“ [8]

## 2.3 FUNKČNÍ POŽADAVKY

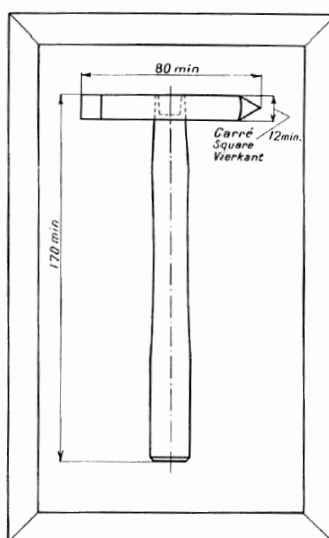
Funkce bočního otevíratelného okénka je přesně definována v TNŽ 28 5201 a v TNŽ 28 5311, odkud jsou vybrány následující požadavky:

- a) výhled ven,
- b) přívod denního světla,
- c) tepelná a zvuková izolace,
- d) izolace proti vodě a prachu,
- e) ergonomické umístění v kabině,
- f) snadné otevírání.

## 2.4 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY

Normy TNŽ 28 5201 a TNŽ 28 5311 se také přesně vyjadřují ve smyslu bezpečnosti:

- a) omezení rosení skel,
- b) boční okno na každé straně kabiny musí být dostatečně velké, aby se dalo použít jako nouzový východ v případě nouze,
- c) vedle okna musí být umístěno kladívko s ocelovými hroty sloužící k rozbití,
- d) použitá skla musí bezpečnostní, tvrzená (po rozbití se roztříští na hodně malých neostrých střípů).



Obr. 2.1 Kladívko na rozbití skla [9]

## 2.5 NAMÁHÁNÍ OKEN PROVOZNÍMI VLIVY

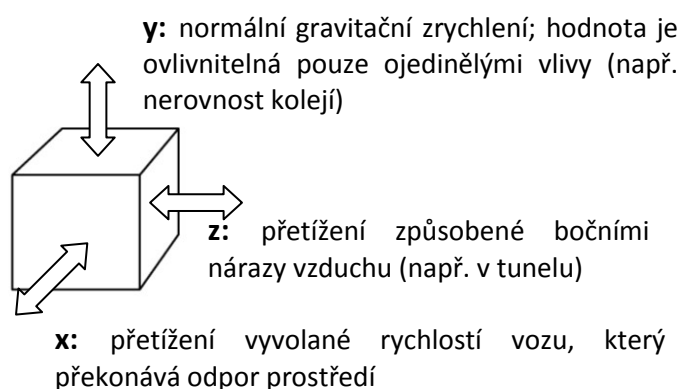
Ač samotné okno je pouze malá část vlaku, musí odolávat stejným provozním vlivům jako okolní stěna z ocelových profilů a plechů, protože spolehlivost nejslabšího článku určuje spolehlivost celého systému.

Tab. 2.1 Dynamické zatížení tlakopevného okna vyvolané tlakovými rázy za jízdy [3]

Rychlost vlaku [km/h]	Tlakové zatížení [Pa]
Do 120	$\pm 1200$
Od 120 do 140	$\pm 1900$
Od 141 do 160	$\pm 2500$
Od 161 do 250	$\pm 3700$
Od 251 do 280	$\pm 5000$
Od 281 do 330	$\pm 8000$
Od 331 a výše	$\pm 9600$

Tab. 2.2 Rázové síly vyvolané jízdou [3]

Směr tlakového přetížení	Velikost přetížení [ $m/s^2$ ]
osa x	5·g
osa y	1·g
osa z	3·g



Obr. 2.2 Znázornění směrů přetížení vozu za jízdy

Statické zatížení okna od přetlakové/podtlakové ventilace ve vozu:  
Nárazy způsobené chováním cestujících:

50 až 400 Pa  
800 N



## 2.6 TEPELNÉ A AKUSTICKÉ PARAMETRY

Nutno dodat, že kabina je klimatizovaná, takže v této práci nebude řešena primární větrací funkce bočního okna. Z norem ČSN 13 129-1 a TNŽ 28 5201 vyplývají hygienické požadavky, které se musí splnit. Jedná se především o akustický požadavek nepřekročení 78 dB při rychlosti vlaku 160 km/h, jelikož se jedná o kabinu – pracoviště strojvedoucího. Dlouhodobé zatížení člověka hlukem je zdravotně velice nežádoucí.

Další funkčně-bezpečnostní požadavek je omezení rosení skla. Boční okénko je důležité rozhledové místo, jehož orosením by byla výrazně narušena funkce.

### ROSNÝ BOD V KABINĚ

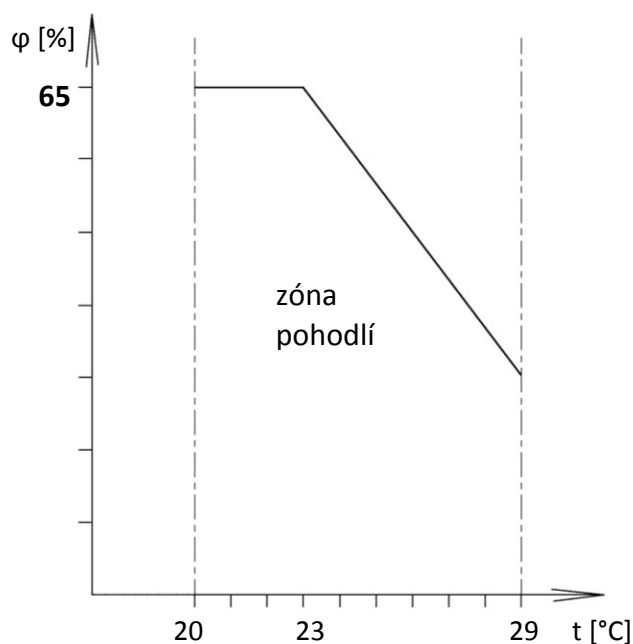
Rosný bod je teplota vzduchu při relativní vlhkosti 100%. Cílem je dosáhnout co nejvyšší této teploty. Určení rosného bodu bude provedeno pomocí Magnusova vztahu:

$$t_{RB} = \frac{5745,31}{\frac{5745,31}{t_1 + 273,15} - \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right)} \text{ [}^\circ\text{C]},$$

kde  $t$  je teplota vzduchu v kabině a  $\varphi$  je relativní vlhkost vzduchu v kabině. Hodnoty těchto ergonomických veličin jsou opět dány normami:

$$t_1 = 18 \div 23 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ podle TNŽ 28 5201.}$$

K určení relativní vlhkosti slouží graf z ČSN 13 129-1 (obr. 2.3), nebo podmínka z TNŽ 28 5201, která omezuje  $\varphi$  na 30 % ÷ 70 %.



Obr. 2.3 Relativní vlhkost vzduchu v zónách pohodlí [8]

## PROSTUP TEPLA OKENNÍ TABULÍ

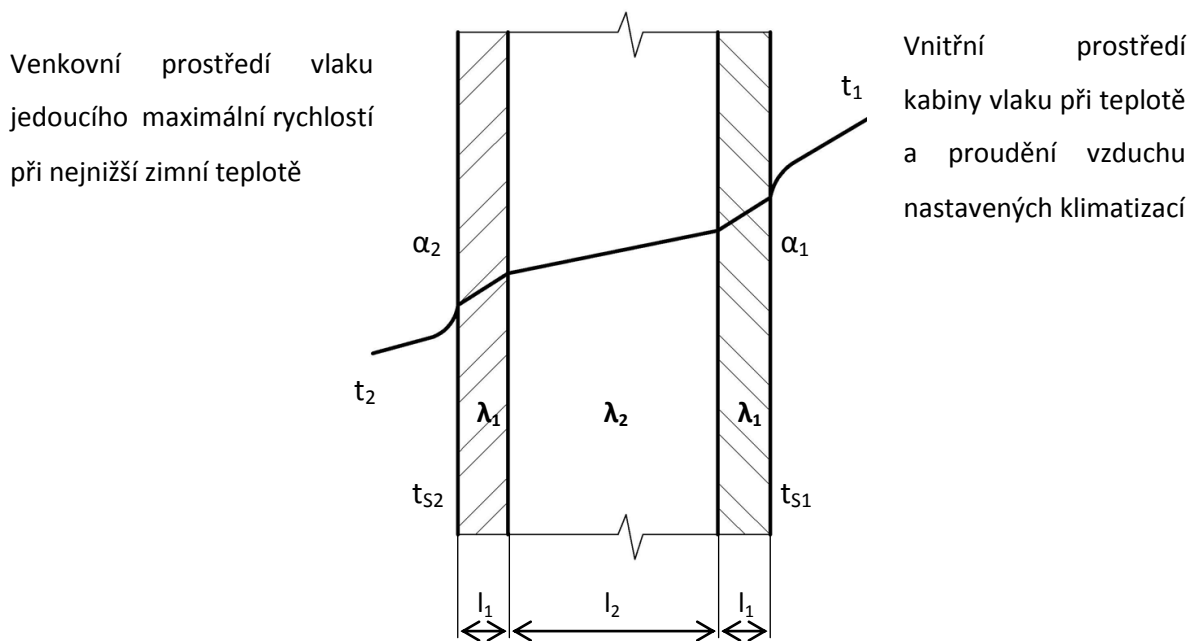
Tepelné hodnoty skla za extrémních podmínek se řeší především kvůli rosení a zamrzání. Průběh teplot je obdobný jako u obecné rovinné stěny, která se skládá ze dvou stejných stěn a meziprostoru s plynem. V tomto případě se jedná o dvě tvrzená skla s izolační mezerou naplněnou argonem.

Při určování teploty vnitřního skla je nutné dodržet podmínku z ČSN 13 129-1, že „teplota vnitřních povrchů okenních skel nesmí být nižší než 12 K pod průměrnou vnitřní teplotou.“ [8] Bude-li průměrná vnitřní teplota 21 °C, teplota skla nebude nižší než 9 °C.

Teplota vzduchu v okolí vozu je dána klimatem, v němž se vlak pohybuje. V případě České republiky se jedná o zónu II podle ČSN 13 129-1. Extrémní teploty určené pro výpočet jsou v tabulce 2.3.

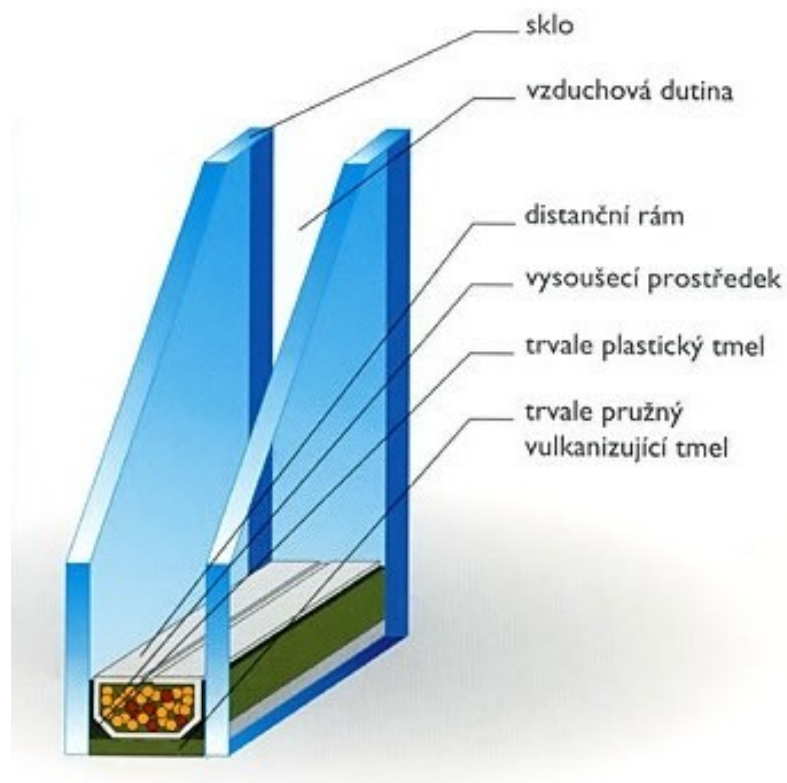
Tabulka 2.3 Extrémní teploty podle klimatických zón [8]

	Minimální vnější teplota [°C]	Maximální vnější teplota [°C]
<b>Zóna I</b>	-10	40
<b>Zóna II</b>	-20	35
<b>Zóna III</b>	-40	28



Obr. 2.4 Prostup tepla okenní tabulí

K omezení rosení skla uvnitř tabule a k nastavení mezery mezi skly se používá distančních profilů (rámečků). Jedná se o ohýbaný profil z hliníku, nerezové oceli či plastu, který je naplněn molekulovým sítem, jež vysouší meziskelní prostor. Tvary těchto profilů jsou různé, příklad je na obr. 2.5. [10]



Obr. 2.5 Umístění distančního rámečku [11]

## 2.7 POŽADAVKOVÝ LIST

Na základě předchozích kapitol byl zpracován požadavkový list. Vypsání požadavky vyplývají nejen z oficiálního zadání práce, ale také z norem týkajících se kolejových železničních vozidel.

Tabulka 2.4 Požadavky kladené na konstrukci

Požadavek	Podmínka/přání
Světlost otvoru v bočnici vozu 850 x 450 [mm]	podmínka
Hloubka spouštění 500 [mm]	podmínka
Rychlost spouštění 0,1 [m/s]	podmínka
Spouštění s elektrickým pohonem	podmínka
Aretace v libovolné poloze	podmínka
Použití bezpečnostního dvojskla podle ČSN 75155	podmínka
Malé rozměry stahovacího mechanismu - plochost	přání
Rovnoměrnost chodu	přání
Hermetizace	podmínka
Demontovatelnost, vyměnitelnost	podmínka
Nízké pořizovací a udržovací náklady	přání
Životnost 15 let	přání
Možnost manuálního ovládání při výpadku elektřiny	přání
Možnost využití při nouzovém úniku z kabiny	podmínka
Omezení rosení skla uvnitř kabiny	podmínka
Omezení pronikání vlhkosti do boční stěny vlaku	přání
Prostup světla minimálně 80%	podmínka

#### Poznámka

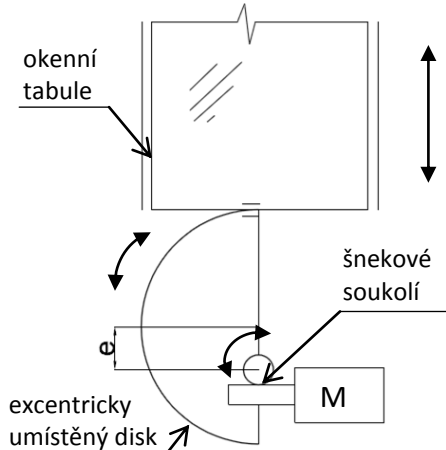
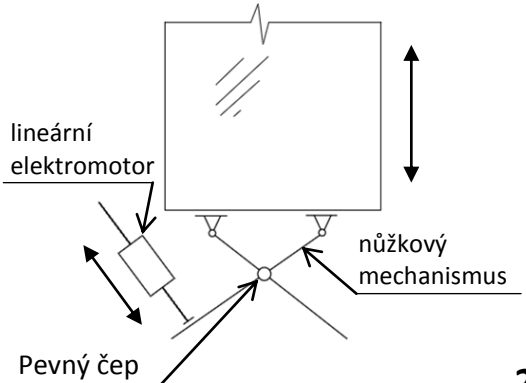
Rozměry otvoru pro zabudování okna byly se souhlasem vedoucího diplomové práce pozměněny. Výsledný vnitřní rozměr rámu musí vyhovět bezpečnostní podmínce podle TNŽ 28 5201, tedy nejmenší přípustná šířka bude 450 mm (případný únikový otvor pro řidiče).

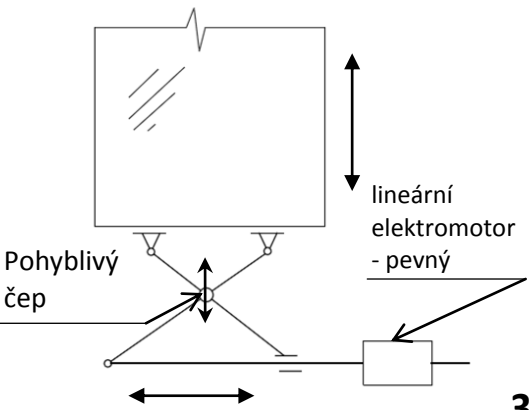
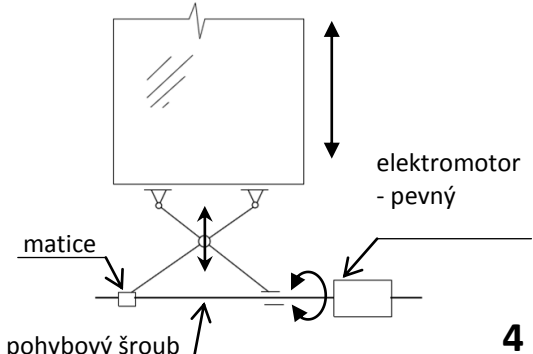
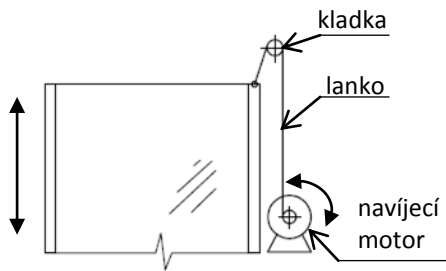
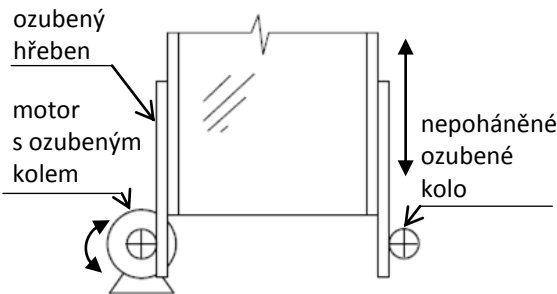
### 3 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ A MECHANISMŮ

#### 3.1 ZVEDACÍ MECHANISMUS A POHON

Principy vysouvání, resp. zasouvání, jsou: vytlačení zespoda (např. varianta 1), vytažení shora (např. varianta 5) nebo pohyb docílený pohybovým šroubem v bočních maticích (např. varianta 8).

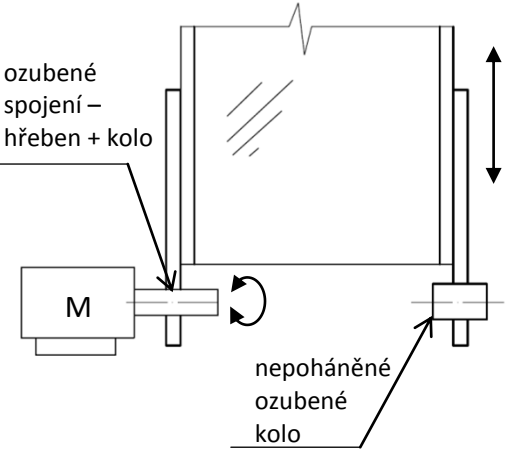
Tabulka 3.1 Zhodnocení navrhovaných typů mechanismu výsuvu

Kinematické schéma a popis	Výhody	Nevýhody
 <p>1</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- samosvornost,</li> <li>- možnost menšího elektromotoru (velký převodový poměr),</li> <li>- plochost mechanismu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nerovnoměrnost chodu,</li> <li>- nutnost spolehlivého bočního vedení,</li> <li>- nízká účinnost</li> </ul>
 <p>2</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plochost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nerovnoměrnost chodu,</li> <li>- nutnost použití trojitého nůžkového mechanismu k dosažení požadované hloubky spouštění</li> </ul>

 <p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plochost,</li> <li>- jednoduchost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nerovnoměrnost chodu,</li> <li>- zvětšování prostoru posuvem lineární tyče,</li> <li>- nutnost použití trojitého nůžkového mechanismu k dosažení požadované hloubky spouštění</li> </ul>
 <p>4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plochost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nerovnoměrnost chodu,</li> <li>- nutnost použití trojitého nůžkového mechanismu k dosažení požadované hloubky spouštění</li> </ul>
 <p>5</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednoduchost,</li> <li>- variabilita řešení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nutnost bočního vedení,</li> <li>- problémy s lankou (napínání, nestálost při různých teplotách),</li> <li>- větší rozměry</li> </ul>
 <p>6</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- spolehlivost,</li> <li>- jednoduchost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rozložitá konstrukce,</li> </ul>

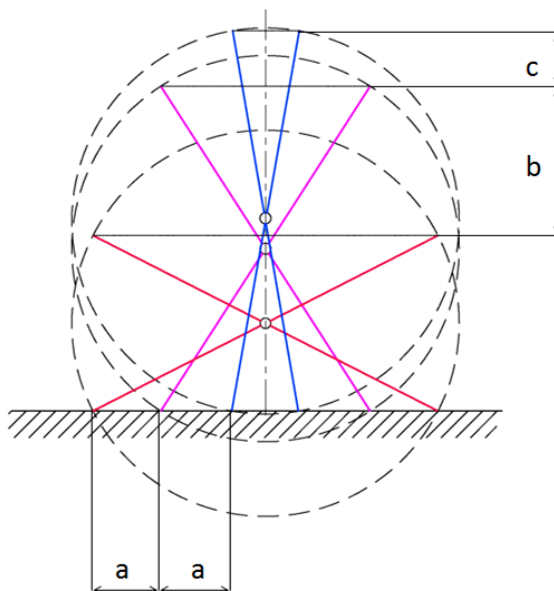
<p>pohybový šroub</p> <p>matice</p> <p>řemeny</p> <p>řemenice</p> <p>M</p> <p><b>7</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- možnost zvedání také větších hmotností,</li> <li>- plochost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nutnost přesné synchronizace pravého a levého šroubu,</li> </ul>
<p>matice</p> <p>pohybový šroub</p> <p>motor</p> <p><b>8</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednoduchost,</li> <li>- plochost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nutnost přesné synchronizace pravého a levého šroubu - oba motory musí pracovat shodně</li> </ul>
<p>pravotočivý šroub + P matice</p> <p>motor - pevný</p> <p>levotočivý šroub + L matice</p> <p><b>9</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plochost,</li> <li>- samosvornost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- samosvornost (nemožnost manuálního ovládní přes horní madlo, ale lze použít manuální pootočení klikou),</li> <li>- nerovnoměrnost chodu,</li> <li>- nutnost použití trojitého nůžkového mechanismu k dosažení požadované hloubky spouštění</li> </ul>



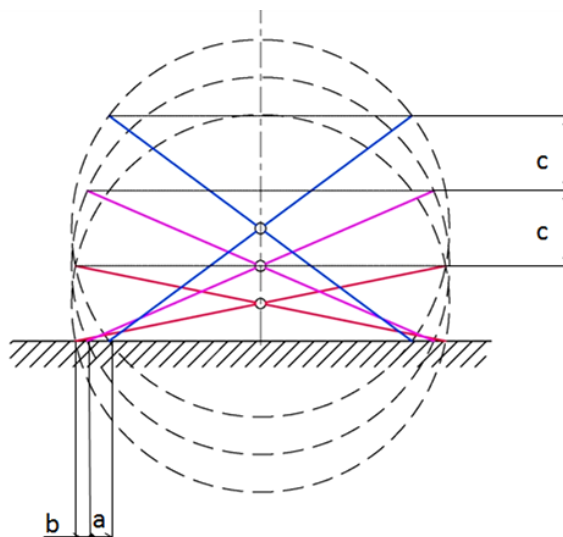
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plochost,</li> <li>- spolehlivost,</li> <li>- jednoduchost,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- problémy s přesností ozubení,</li> <li>- nevhodné umístění elektromotoru,</li> <li>- nepohodlná demontáž ozubeného hřebene</li> </ul>
---	---	--

### ROZBOR POLOH NŮŽKOVÉHO MECHANISMU

Při použití normálního, rovnoměrně pracujícího pohonu nelze dosáhnout rovnoměrného zvedání (obr. 3.1). Aby měl pohyb stejnou rychlost na začátku i na konci relace (obr. 3.2), musel by se použít nerovnoměrně pracující pohon s proměnnými otáčkami, např. servomotor. Na základě těchto poznatků nebudou zvedací mechanismy nůžkového typu v této práci dále řešeny.



Obr. 3.1 Situace nůžkového mechanismu při rovnoměrných otáčkách elektromotoru



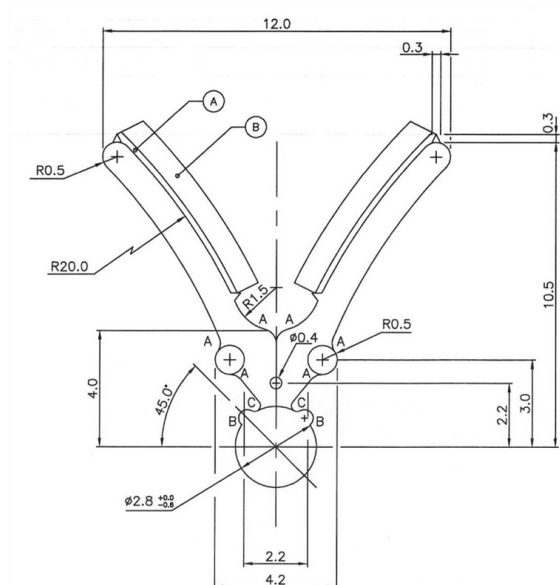
Obr. 3.2 Situace nůžkového mechanismu při nerovnoměrných otáčkách elektromotoru

### 3.2 BOČNÍ VEDENÍ

V konstrukci vedení okna v bočnici jsou v zásadě dvě možnosti:

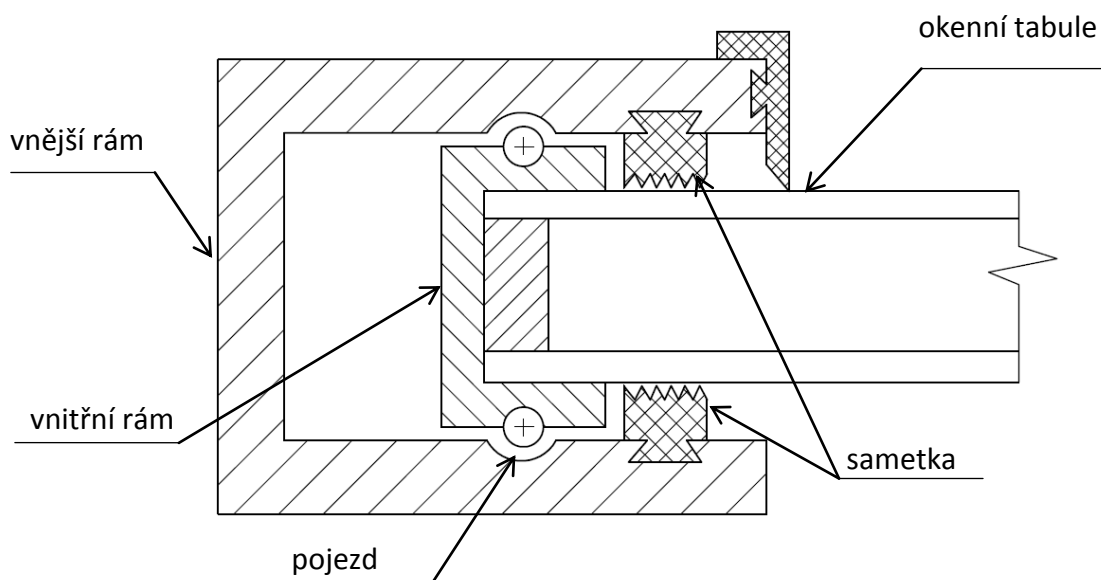
- a) vedení bez pomocného rámu (jako je to např. u automobilů),
- b) vedení v pomocném rámu.

ad a) Jedná se o profil tvaru V, který je zasazen v bočnici vozu. Sklo jezdí ve V drážce, která je vystlána sametovým těsněním, tzv. sametkou. Příklad takového řešení je na obrázku 3.3, jedná se o komponent plastového okna metra. [12]



Obr. 3.3 „V“ drážka [12]

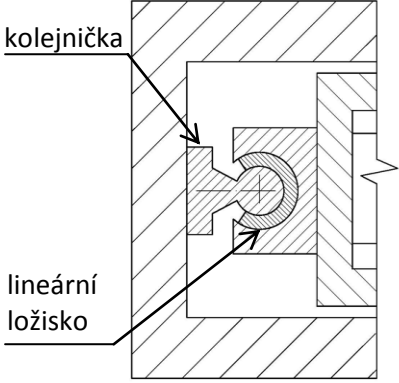
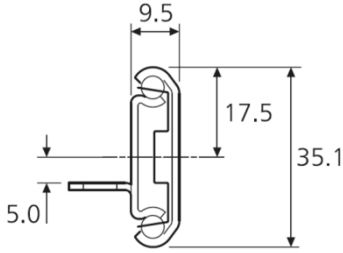
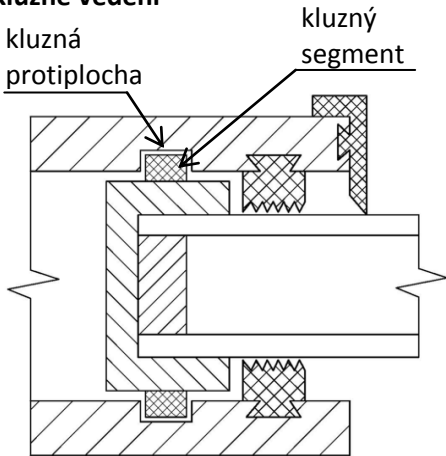
ad b) Stabilnější a složitější řešení nabízí vedení v pomocném rámu. Hlavní prvky nutné k funkci jsou zobrazeny ve schématu na obrázku 3.4.



Obr. 3.4 Základní prvky v bočním vedení dvojskla

K řešení byla vybrána varianta b. Zde je hlavní navrhnout správný pojezd, ten může tvořit lineární ložisko, teleskopický výsuv nebo třecí profilové vedení. Zhodnocení vhodnosti použití podle požadavků je v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Zhodnocení typů bočního vedení

Typ vedení	Malé rozměry	Výsuv 500 mm	Nízká cena	Zanedbatelné tření
<b>Lineární ložisko</b> 	NE	ANO	NE	ANO
<b>Teleskopický výsuv [13]</b> 	NE (při velkém výsuvu)	NE (při zachování menší šířky)	NE	ANO
<b>Kluzné vedení</b> 	ANO	ANO (neomezeně)	ANO	NE

## KLUZNÉ VEDENÍ

Požadavky na materiál pro třecí vedení jsou:

- nízký koeficient tření,
- tepelná odolnost,
- kluzná rychlost nepřesahující zadanou rychlost 0,1 m/s,
- nízké opotřebení – vysoká životnost,
- odolnost proti vibracím a rázům,
- tolerance vůči nepřesnostem na protiploše. [14]

K těmto účelům mohou posloužit běžně používané materiály, jako jsou např. teflon, bronz nebo různé typy plastů. Do konstrukčního návrhu byl vybrán plastový materiál ZEDEX<sup>®</sup>, který vyniká nad ostatními materiály svými mechanickými vlastnostmi (tabulka 3.3). Dále výrobce udává výhody jako bezúdržbovost, odolnost vůči rázům a vibracím, chemická odolnost, tolerance nepřesností protiplochy, výhodné použití za sucha aj.

Tabulka 3.3 Vybrané mechanické hodnoty materiálu ZEDEX<sup>®</sup> [14]

<b>ZEDEX<sup>®</sup> 100</b>	
<b>Pracovní teploty</b>	-150 ÷ 90 [°C]
<b>Kluzná rychlost</b>	0 ÷ 100 [m/min]
<b>Tlak na plochu</b>	max. 75 [MPa]
<b>Koeficient tření při teplotě 25°C</b>	0,08 [-]

Podrobnější informace o materiálu ZEDEX<sup>®</sup> 100 jsou uvedeny v příloze A.

### 3.3 SYSTÉM ARETACE

Jedním ze zadaných cílů práce je návrh systému aretace, tedy dosažení stabilní polohy v libovolné fázi vysunutí (resp. zasunutí) okna. Možnosti provedení jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4 Zhodnocení prvků pro dosažení aretace

Typ prvku k dosažení aretace	Výhody	Nevýhody
<b>PROTIZÁVAŽÍ</b>	- jednoduchost	- velmi vysoká hmotnost (zvýšení hmotnosti konstrukce o cca 20 kg)
<b>PRUŽINA</b>	- malé rozměry a hmotnost	- nekonstantní zatížení na motor
<b>SAMOSVORNOST</b> (při použití samosvorných šroubů u některých výsuvných mechanismů)	- jednoduchost	- nepohodlné manuální ovládání (otáčení klikou)
<b>BRZDA NA MOTORU</b>	- jednoduchost	- vyšší cena pohonu

#### BRZDA NA MOTORU

Princip tohoto systému zajištění polohy se zakládá na možnostech elektromotoru

- krátkou dobu zajistit hřídel v dané poloze,
- po dané časové prodlevě spustit mechanickou brzdu na hřídeli.

Tabulka 3.5 Příklad pracovního cyklu motoru

Tlačítko	úkon obsluhy	činnost elektromotoru
<b>DOWN</b>	stlačení	zapnutí motoru, snaha o dosažení jmenovitých otáček
<b>DOWN</b>	povolení	zastavení otáčení, držení hřídele v dané poloze
-	nečinnost	vypnutí motoru, aktivace mechanické brzdy
<b>UP</b>	stlačení	zapnutí motoru, změna směru otáčení
<b>UP</b>	stlačení	vypnutí motoru na základě impulsu od mikrosenzoru, aktivace brzdy (okno dosáhlo nejvyšší polohy)

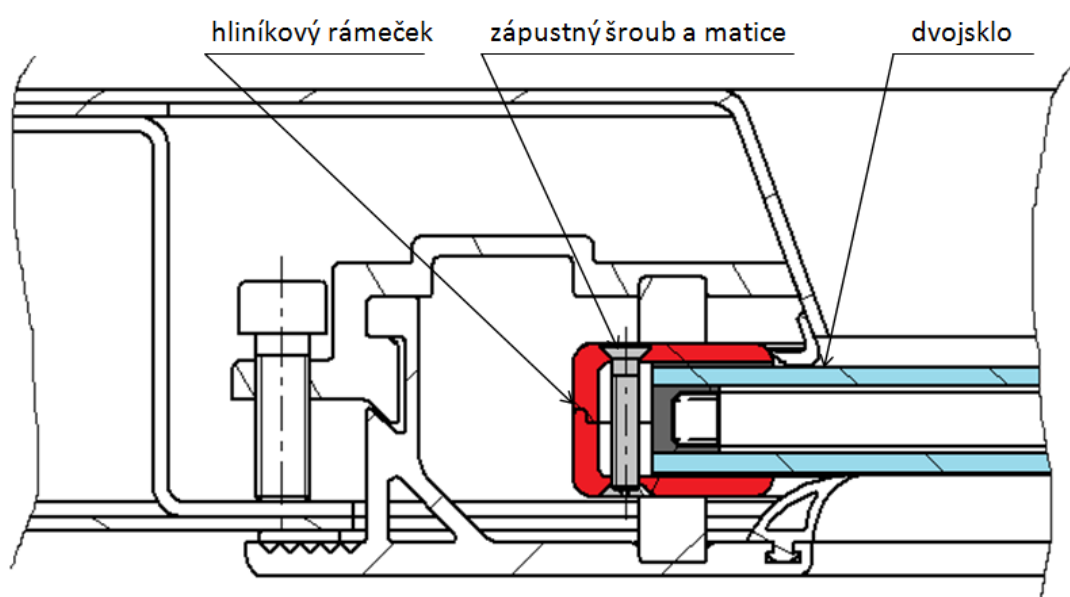
### **Situace při výpadku elektřiny – bezpečnostní podmínka**

V požadavkovém listu je uvedeno přání, aby bylo možné ovládat stahování okna při výpadku elektřiny (tedy velice výjimečně). Tento požadavek se dá ověřit pomocí vztahů, kde se objevuje brzdící moment na brzdě elektromotoru. Jedná se o to, že zvýšením zátěže na pohybový šroub se zvýší kroutící moment na elektromotoru a při tomto momentu brzda neudrží hřídel v zafixované poloze. Samozřejmě taková situace při používání neprospívá žádné části konstrukce, ale zvyšuje bezpečnost posádky při výjimečných situacích.

## 4 DETAILNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH UZLŮ

### 4.1 OKENNÍ TABULE

Vyrobené dvojsklo je sevřeno v hliníkovém rámečku, který slouží nejen jako ochrana okrajů skel, ale hlavně jako stabilní prvek pro uchycení výsuvných elementů (např. ozubený hřeben, pohybová matice). Rámeček se skládá ze dvou dílů, které do sebe zapadají a jsou spojeny šrouby se zápusťnou hlavou a zápusťnými maticemi, viz obr. 4.1.



Obr. 4.1 Řez bočním vedením okna se znázorněním uchycení skleněné tabule

Tloušťka skel a mezera mezi nimi jsou dimenzovány pomocí tepelného výpočtu, kdy musí být dodržena podmínka  $t_{s1} > t_{RB}$ , kde  $t_{s1}$  je teplota vnitřní stěny okenní tabule a  $t_{RB}$  je rosný bod v kabině. Počítá se pro podmínky, kdy vlak jede maximální rychlostí za extrémně nízkých teplot. Pro výpočet bylo použito bezpečnostní dvojsklo plněné argonem. K danému účelu byla navržena okenní tabule 3-8-3 (3 mm sklo – 8 mm meziskelná výplň s 90 % argonu – 3 mm sklo). Hodnoty k výpočtu teploty stěny vychází z [3], [10] a [15].



## VÝPOČET ROSNÉHO BODU:

Voleno:

$$t_1 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varphi_{\text{rel}} = 60 \text{ [%]}$$

---

$$t_{\text{RB}} = \frac{5745,31}{\frac{5745,31}{t_1 + 273,15} - \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right)} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.1)$$

$$t_{\text{RB}} = \frac{5745,31}{\frac{5745,31}{20 + 273,15} - \ln\left(\frac{60}{100}\right)} = \mathbf{12,553 \text{ [}^\circ\text{C]}}$$

kde  $t_1$  je teplota uvnitř kabiny [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $\varphi_{\text{rel}}$  je relativní vlhkost uvnitř kabiny [%]

Pod tuto hodnotu nesmí klesnout teplota vnitřní stěny okenní tabule, aby na skle v interiéru nekondenzovala vzdušná vlhkost. Na výsledek bude brán ohled v následném návrhu skla.

## KONTROLA NAVRŽENÉHO SKLA

K danému účelu byla navržena okenní tabule 3-8-3 (3 mm sklo – 8 mm meziskelná výplň s 90 % argonu – 3 mm sklo).

$$t_1 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_2 = -20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\alpha_1 = 11,6 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$\alpha_2 = 102 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$\lambda_1 = 0,6 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$$

$$\lambda_2 = 0,0169 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$$

$$l_1 = 0,003 \text{ [m]}$$

$$l_2 = 0,008 \text{ [m]}$$

---

**Součinitel prostupu tepla:**

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4.2)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{11,6} + \frac{0,003}{0,6} + \frac{0,008}{0,0196} + \frac{1}{102}} = 1,443 \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

kde  $\alpha_1$  je součinitel tepelné vodivosti uvnitř kabiny  $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$   
 $\alpha_2$  je součinitel tepelné vodivosti vně vlaku za jízdy  $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$   
 $\lambda_1$  je součinitel přestupu tepla skla  $[\text{W/m} \cdot \text{K}]$   
 $\lambda_2$  je součinitel přestupu tepla 90 % argonu a 10 % vzduchu  $[\text{W/m} \cdot \text{K}]$   
 $l_1$  je tloušťka skla  $[\text{m}]$   
 $l_2$  je mezery mezi skly naplněná argonem  $[\text{m}]$   
viz obrázek 2.4

**Hustota tepelného toku:**

$$q = k \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.3)$$

$$q = 1,443 \cdot [20 - (-20)] = 57,742 \quad [\text{W/m}^2]$$

kde  $t_1$  je teplota uvnitř kabiny  $[\text{°C}]$   
 $t_2$  je teplota vně vlaku v zimním období  $[\text{°C}]$

**Teplota vnitřní stěny:**

$$t_{s1} = t_1 - \left( q \cdot \frac{1}{\alpha_1} \right) \quad [\text{°C}] \quad (4.4)$$

$$t_{s1} = 20 - \left( 57,742 \cdot \frac{1}{11,6} \right) = 15,022 \quad [\text{°C}]$$

**Splnění podmínky:**

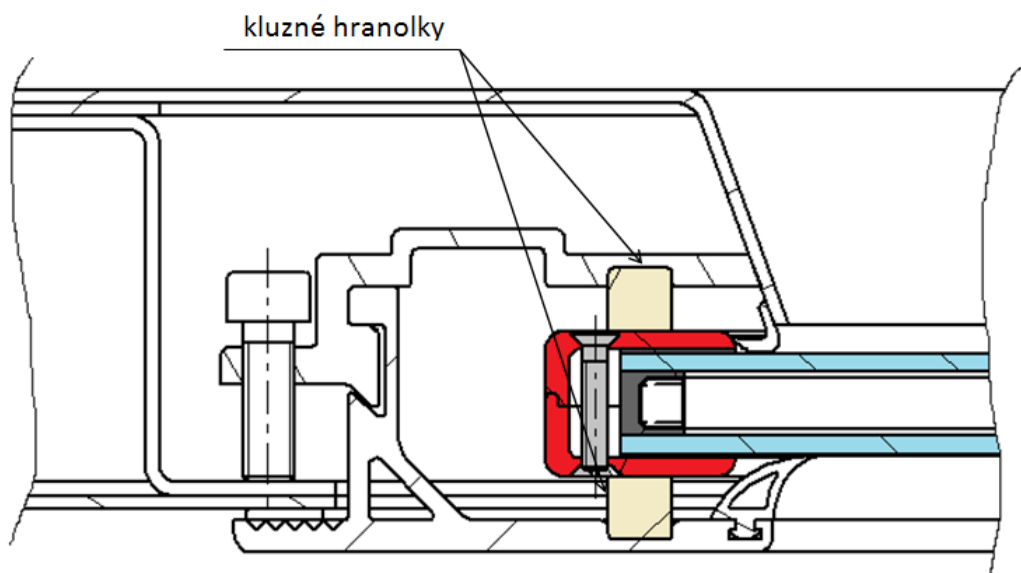
$$t_{s1} > t_{RB}$$

$$15,022 > 12,553$$

Teplota vnitřní stěny při extrémních podmínkách (jedoucí vlak při venkovní teplotě  $-20 \text{ °C}$ ) je větší než teplota rosného bodu. Na skle tedy nebude kondenzovat vzdušná vlhkost (při vnitřní teplotě  $20 \text{ °C}$  a relativní vlhkosti vzduchu 60 %).

## 4.2 BOČNÍ VEDENÍ

V podkapitole 3.2 byly vyhodnoceny způsoby vedení a vybrána varianta s kluznými elementy. Na obrázku 4.2 jsou znázorněny kluzné hranolky v konkrétním případě. Kromě samotných kluzáků zajišťuje bezpečné vedení také výsuvný mechanismus, viz následující kapitoly.



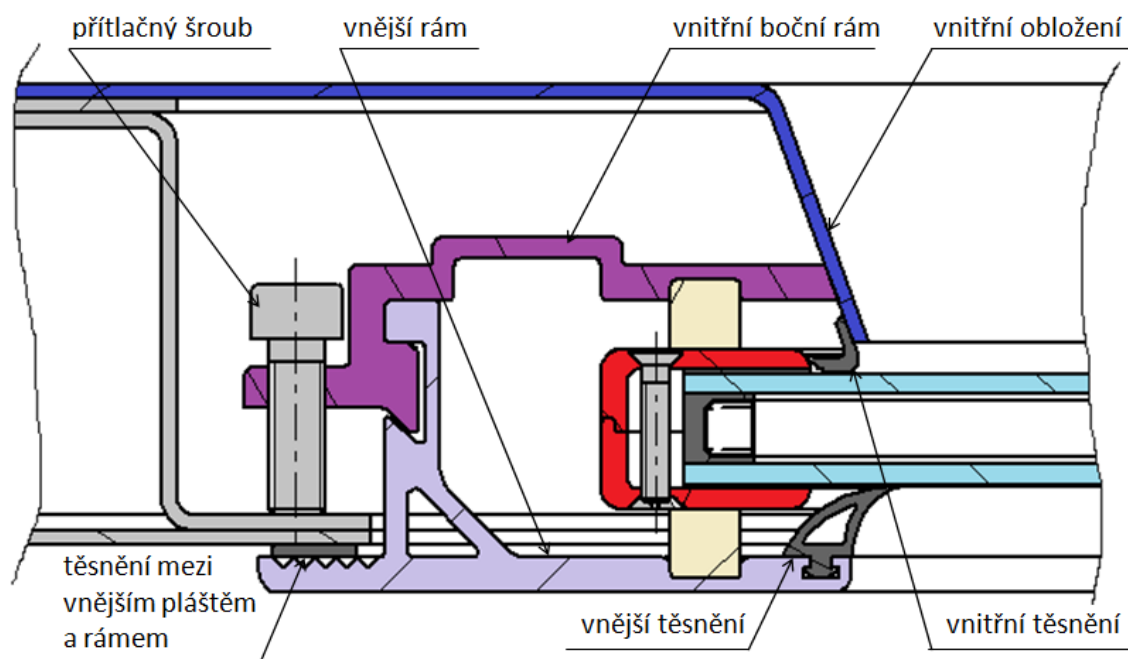
Obr. 4.2 Řez bočním vedením okna se znázorněním vertikálního vedení

## 4.3 UCHYCENÍ V HRUBÉ STAVBĚ

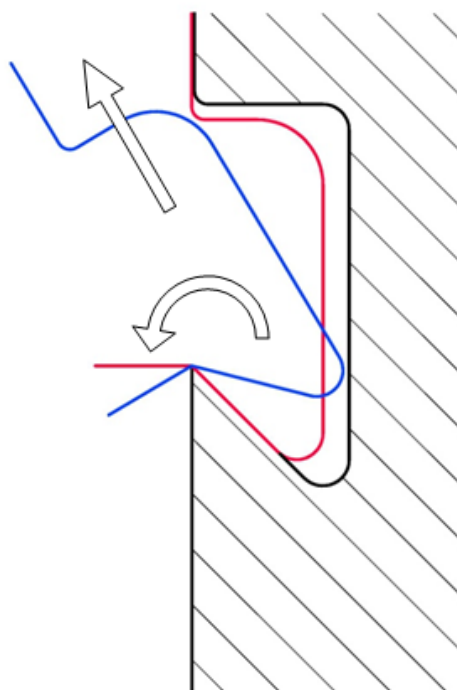
V případě konstrukcí umístěných do hrubé stavby vlaku je nutné, aby byly snadno smontovatelné i demontovatelné bez nutnosti narušení konstrukčních uzlů. Snahou bylo navrhnout řešení v „sendvičovém“ stylu.

Základním prvkem navržené sestavy je vnější rám, který je umístěn souběžně s vnějším opláštěním vozu. Na vnější rám navazují ostatní díly, hlavně vnitřní boční rám, který se nasazuje do účelně tvarované drážky, viz obr. 4.4.

Vnitřní boční rámy jsou dva – pravý a levý. Slouží jako upevňovací prvek vnějšího rámu, jako protiplocha kluzného vedení a jako dosedací plocha plastového vnitřního obložení.

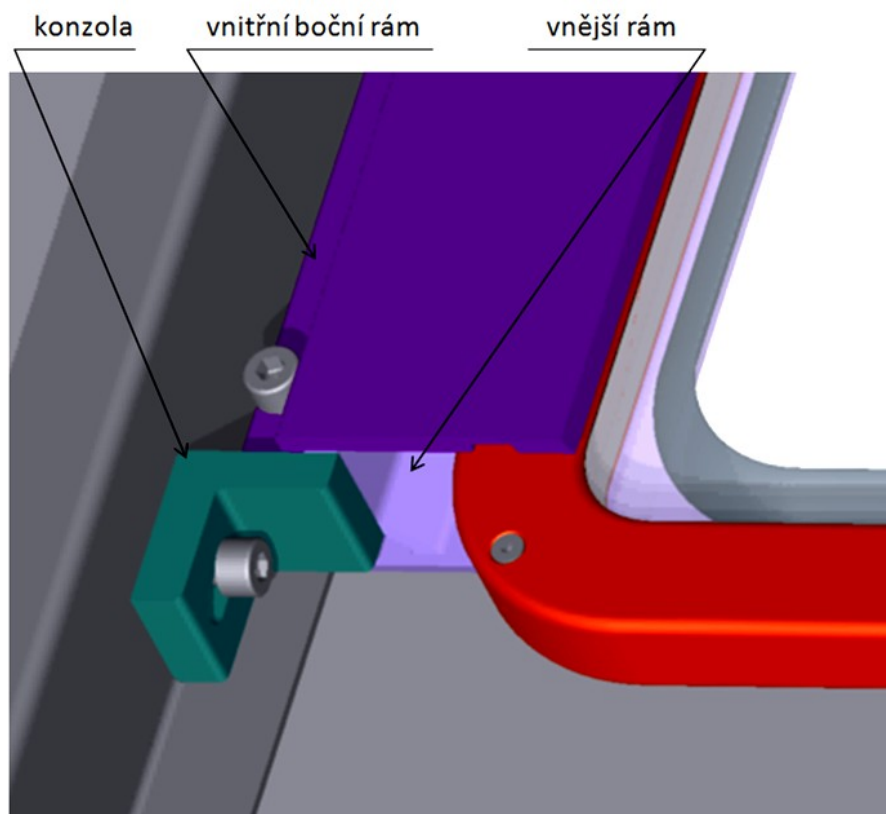


Obr. 4.3 Řez bočním vedením okna se znázorněním uchycení v hrubé stavbě



Obr. 4.4 Simulace vyjímání přítlačných prvků z vnějšího rámu

Kromě přítlačných bočních šroubů drží rámy okna také dvě pojistné konzoly, které jsou umístěny v dolní části sestavy a podpírají vnější rám a boční rámy. Tato součást byla podrobena analýze pomocí metody konečných prvků v programu Autodesk Inventor, nejdůležitější výsledky jsou zobrazeny níže, celá výpočtová zpráva pak v příloze diplomové práce. 3D pohled na umístění součásti je na obrázku 4.5.



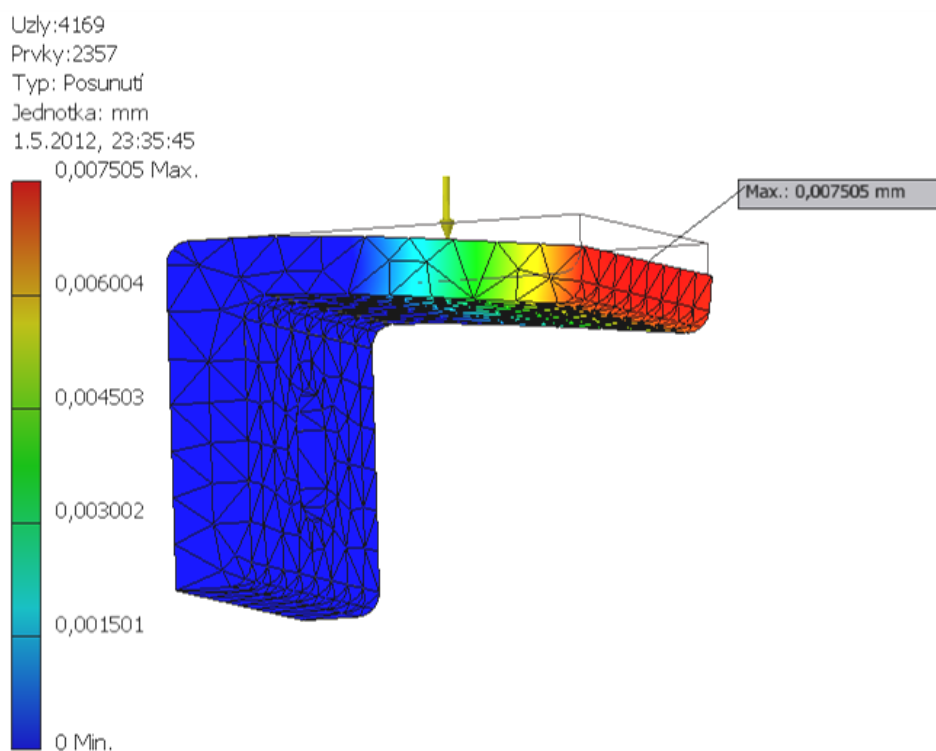
Obr. 4.5 Pohled na pojistnou konzolu ve spodní části okna

## MKP ANALÝZA POJISTNÉ KONZOLY

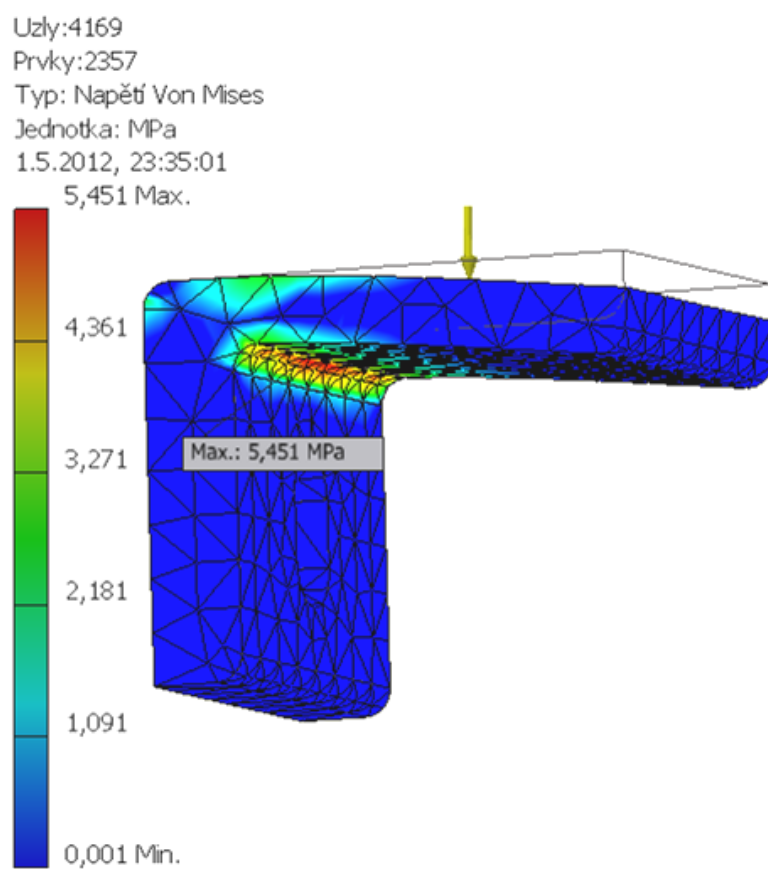
Jako vstupní hodnoty byly zadány:

- zatěžující síla 35 N – polovina tíhové síly rámu,
- vetknutí v místě šroubového spoje,
- materiál použitý k výpočtu – hliník.

Vizualizace se zobrazením posunutí na obrázku 4.6 a vizualizace pevnostního výpočtu dle metody Von Mises je na obrázku 4.7. Kompletní protokol o analýze je v příloze J.



Obr. 4.6 Zobrazení posunutí



Obr. 4.7 Pevnostní analýza dle Von Mises

## KONTROLA ŠROUBU

Řešená konzola je k hrubé stavbě připevněna imbusovým šroubem se závitem M6 a nýťovací maticí (typ nýťovací matice je v příloze B práce). Šroub byl zkontrolován výpočtem níže. Výpočty byl provedeny dle [16].

$$m_R = 3,5 \text{ [kg]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$f_1 = 0,2 \text{ [-]}$$

$$f_{TZ} = 0,15 \text{ [-]}$$

$$f_M = 0,17 \text{ [-]}$$

Tabulka 4.1 Parametry šroubu [17]

Parametry šroubu M6							
$d_{\text{metr}}$	$d_{2\text{metr1}}$	$d_{3\text{metr1}}$	$P_{\text{hmetr1}}$	$\alpha_{\text{metr}}$	$R_{\text{emetr1}}$	$D_{\text{dmetr1}}$	$S_{\text{Kmetr1}}$
6 [mm]	5,35 [mm]	4,77 [mm]	1 [mm]	60 [°]	640 [MPa]	10 [mm]	6,6 [mm]

### Minimální osová síla ve šroubu:

$$F_{o1\text{min}} = m_R \cdot g \cdot f_1 \text{ [N]} \quad (4.5)$$

$$F_{o1\text{min}} = 3,5 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 6,867 \text{ [N]}$$

kde  $m_R$  je hmotnost rámu [kg]

$g$  je gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$f_1$  je koeficient tření mezi profilem hrubé stavby a konzolou [-]

Jelikož je výsledná osová síla příliš malá, volím  $F_{o\text{metr1}} = 1000 \text{ [N]}$

### Redukovaný třecí úhel v závitu:

$$\phi'_{\text{metr1}} = \arctg\left(\frac{f_{TZ}}{\cos \frac{\alpha_{\text{metr}}}{2}}\right) [^\circ] \quad (4.6)$$

$$\phi'_{\text{metr1}} = \arctg\left(\frac{0,15}{\cos \frac{60^\circ}{2}}\right) = 9,826 [^\circ]$$

kde  $f_{TZ}$  je koeficient tření v závitu [-]

$\alpha_{\text{metr}}$  je úhel profilu metrického závitu [°]

**Úhel stoupání závitu:**

$$\psi_{\text{metr } 1} = \arctg\left(\frac{P_{\text{hmetr } 1}}{\pi \cdot d_{2\text{metr } 1}}\right) [^\circ] \quad (4.7)$$

$$\psi_{\text{metr } 1} = \arctg\left(\frac{1}{\pi \cdot 5,35}\right) = 3,404 [^\circ]$$

kde  $P_{\text{hmetr } 1}$  je stoupání závitu M6 [mm]  
 $d_{2\text{metr } 1}$  je střední průměr závitu M6 [mm]

$$\phi'_{\text{metr } 1} > \psi_{\text{metr } 1} \Rightarrow \text{šroub je samosvorný}$$

**Moment tření v závitu:**

$$M_{\text{TZmetr } 1} = F_{o1} \cdot \tg(\phi'_{\text{metr } 1} + \psi_{\text{metr } 1}) \cdot \frac{d_{2\text{metr } 1}}{2} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.8)$$

$$M_{\text{TZmetr } 1} = 1000 \cdot \tg(9,826 + 3,404) \cdot \frac{5,35}{2} = 628,960 [\text{N} \cdot \text{mm}] = 0,629 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

**Třecí moment pod hlavou šroubu:**

$$M_{\text{TMmetr } 1} = F_{o1} \cdot f_M \cdot \frac{D_{\text{dmetr } 1} + s_{\text{Kmetr } 1}}{4} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.9)$$

$$M_{\text{TMmetr } 1} = 1000 \cdot 0,17 \cdot \frac{6,6 + 10}{4} = 830 [\text{N} \cdot \text{mm}] = 0,830 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

kde  $f_M$  je součinitel smykového tření po hlavou šroubu [–]  
 $D_{\text{dmetr } 1}$  je průměr díry pro šroub M6 [mm]  
 $s_{\text{Kmetr } 1}$  je průměr díry pro šroub M6 [mm]

**Utahovací moment:**

$$M_{\text{Umetr } 1} = M_{\text{TZmetr } 1} + M_{\text{TMmetr } 1} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.10)$$

$$M_{\text{Umetr } 1} = 0,629 + 0,830 = 1,458 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

**Moment odporu průřezu proti krutu:**

$$W_{\text{Kmetr } 1} = \frac{\pi}{16} \cdot d_{3\text{metr } 1}^3 [\text{mm}^3] \quad (4.11)$$

$$W_{\text{Kmetr } 1} = \frac{\pi}{16} \cdot 4,773^3 = 21,350 [\text{mm}^3]$$

kde  $d_{3\text{metr } 1}$  je malý průměr závitu M6 [mm]



**Smykové namáhání:**

$$\tau_{\text{metr } 1} = \frac{M_{Tz\text{metr } 1}}{W_{K\text{metr } 1}} \text{ [MPa]} \quad (4.12)$$

$$\tau_{\text{metr } 1} = \frac{628,96}{21,35} = 29,459 \text{ [MPa]}$$

**Namáhání v tahu:**

$$\sigma_{\text{tmetr } 1} = \frac{F_{o1}}{\pi \cdot \left(\frac{d_{3\text{metr } 1}}{4}\right)^2} \text{ [MPa]} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{\text{tmetr } 1} = \frac{1000}{\pi \cdot \left(\frac{10,5}{4}\right)^2} = 55,889 \text{ [MPa]}$$

**Redukované napětí dle Gesta:**

$$\sigma_{\text{redmetr } 1} = \sqrt{\sigma_{\text{tmetr } 1}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{metr } 1}^2} \text{ [MPa]} \quad (4.14)$$

$$\sigma_{\text{red } 1} = \sqrt{55,889^2 + 4 \cdot 29,459^2} = 75,677 \text{ [MPa]}$$

**Bezpečnost navrženého šroubu:**

$$k_{S\text{metr } 1} = \frac{R_{\text{metr } 1}}{\sigma_{\text{redmetr } 1}} [-] \quad (4.15)$$

$$k_{S\text{metr } 1} = \frac{640}{75,677} = 8,457 [-]$$

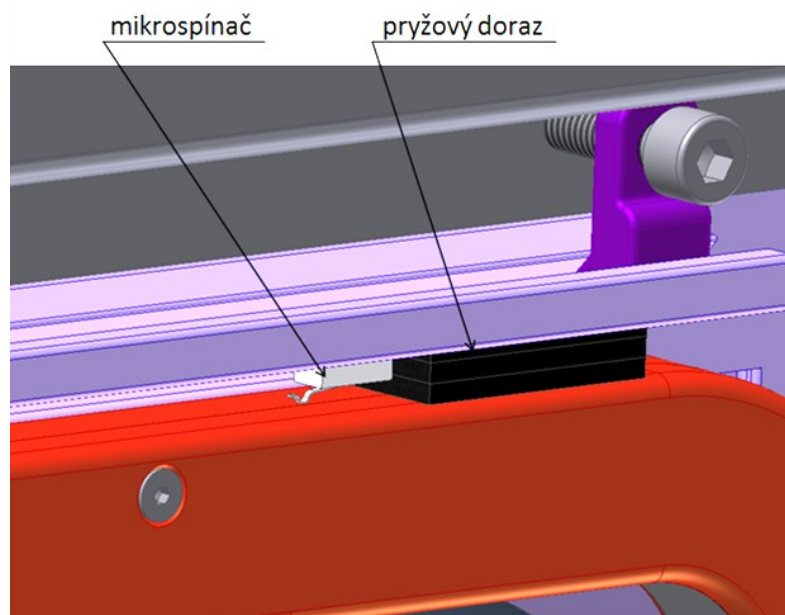
kde  $R_{\text{metr } 1}$  je mez pružnosti materiálu šroubu [MPa]

**Zhodnocení**

Navržený šroub vydrží zvolené namáhání s vysokou bezpečností.

#### 4.4 DOJEZD

Při dosažení horní nebo dolní polohy okna se motor zastaví díky mikrospínačům umístěným v krajních polohách. Typ mikrospínače je popsán v příloze C.



Obr. 4.8 Dojezd okna

#### 4.5 MADLO

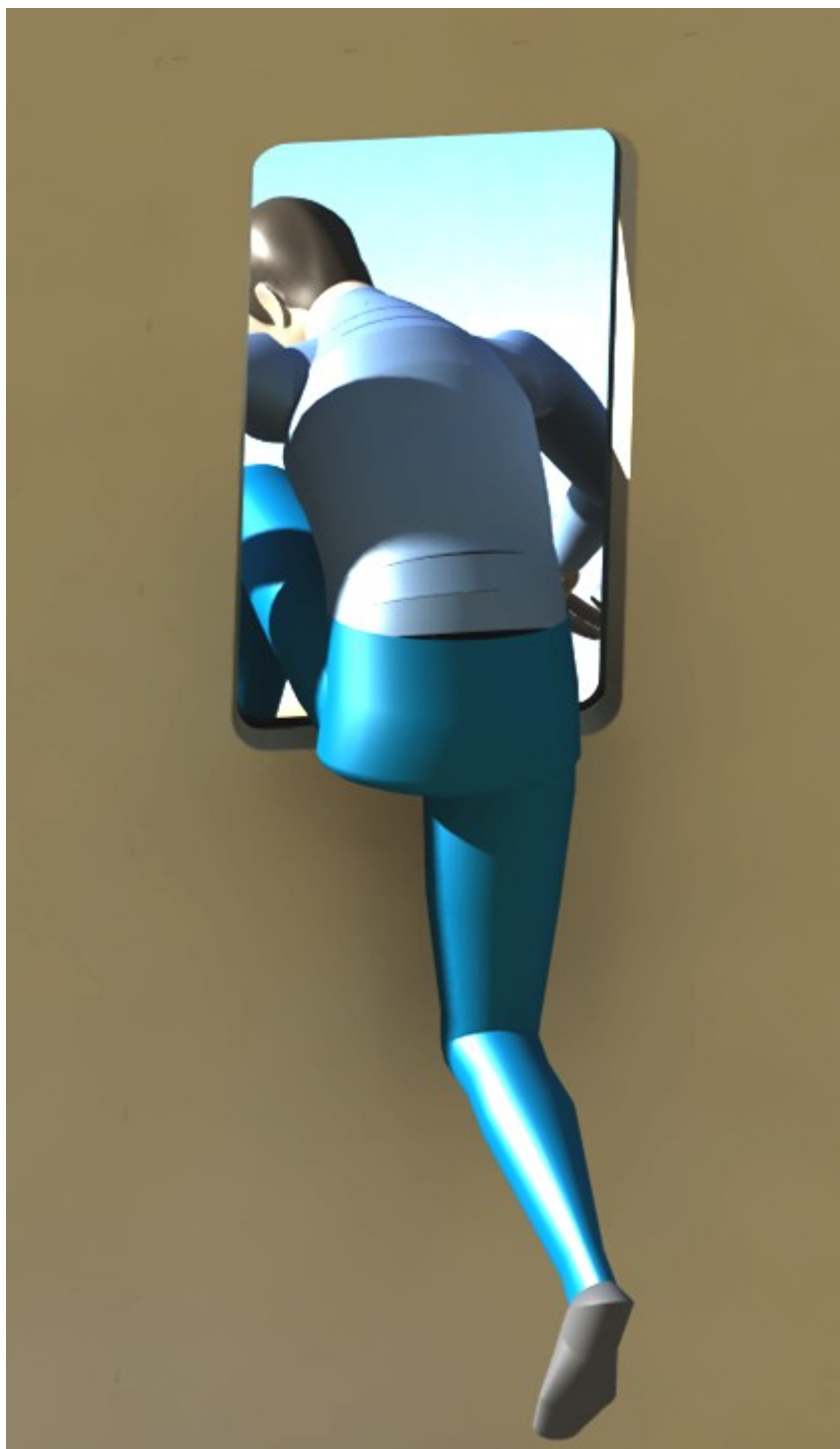
Na základě požadavku manuálního ovládání ve výjimečných případech bylo vymodelováno ergonomicky tvarované madlo, které je připevněno na hliníkovém rámečku okenní tabule.



Obr. 4.9 Uchopení madla člověkem (simulace pomocí Workbench Human Builder)

#### **4.6 VELIKOST ÚNIKOVÉHO OTVORU**

Velikost volného otvoru okna je navržena s ohledem na ergonomické parametry člověka. Výsledné rozměry tedy jsou 470 x 780 [mm]. Únik člověka z kabiny oknem byl nasimulován v programu Catia a je znázorněn na obrázku 4.10.

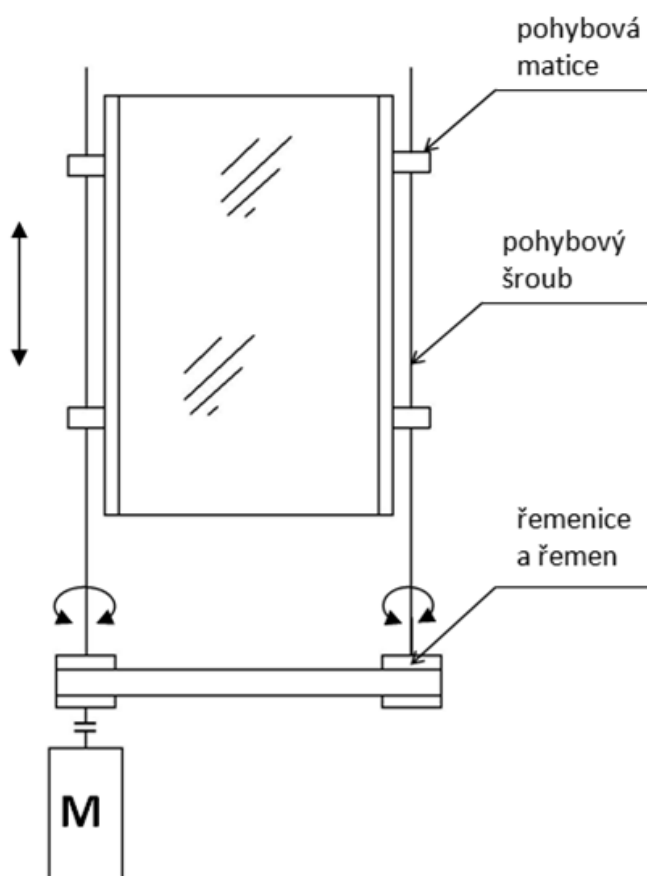


Obr. 4.10 Simulace úniku člověka navrženým otvorem pomocí Workbench Human Builder

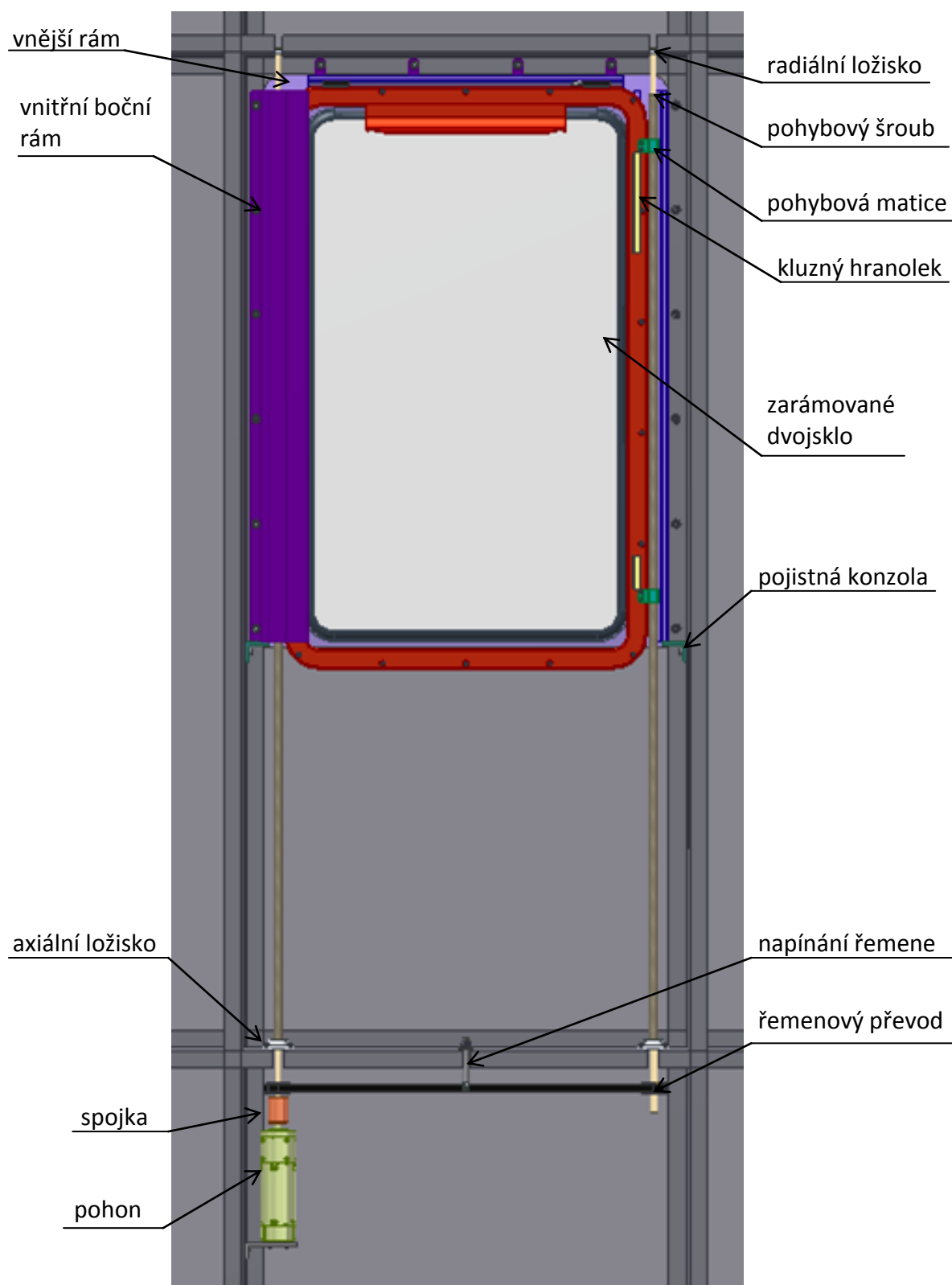
## 5 VÝSUVNÝ MECHANISMUS S POHYBOVÝMI ŠROUBY

### 5.1 ČÁST POPISNÁ

Toto řešení stahování okna využívá vlastností pohybových šroubů, konkrétně konstrukčního uspořádání, kdy se šroub otáčí na místě a matice se posouvá. Nabízená varianta kombinuje principy vysouvání 7 a 8 z kapitoly 3.1. Oba pohybové šrouby pohání jediný elektromotor, stejné parametry otáčení obou šroubů zajišťuje spojení ozubeným řemenem.



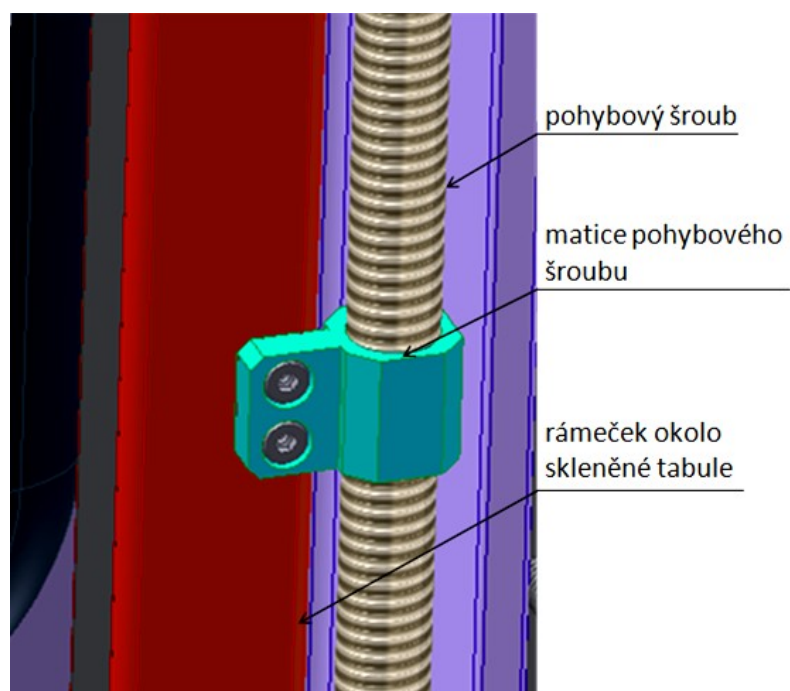
Obr. 5.1 Kinematické schéma řešené varianty s pohybovými šrouby



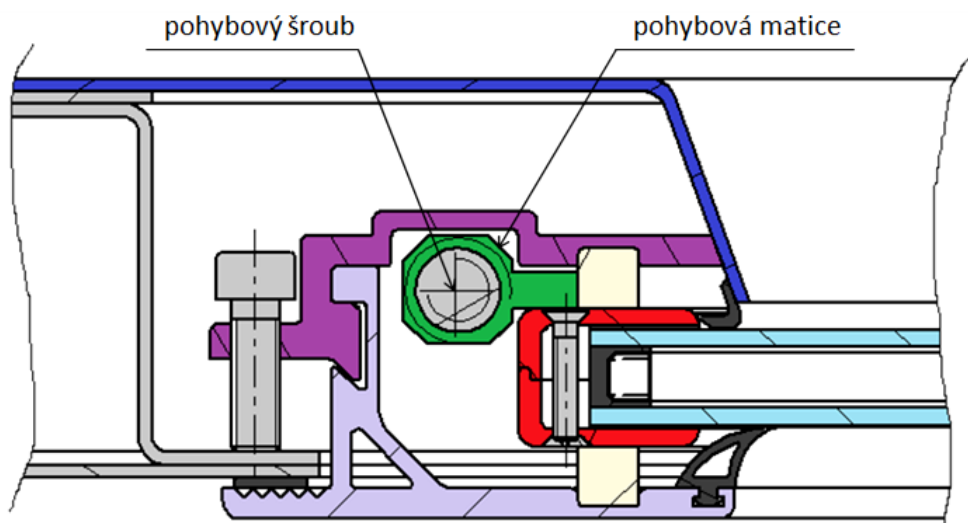
Obr. 5.2 3D model navrženého mechanismu (částečně odkrytovaný)

## POHYBOVÉ ŠROUBY A POHYBOVÉ MATICE

V celé sestavě jsou dohromady dva pohybové šrouby a čtyři matice. Šrouby dole spočívají v axiálních ložiscích a nahoře v radiálních ložiscích, otáčejí se v pohybových maticích. Pohybová matice je připevněna na hliníkovém rámečku izolačního dvojskla dvěma šrouby se závitem M4.

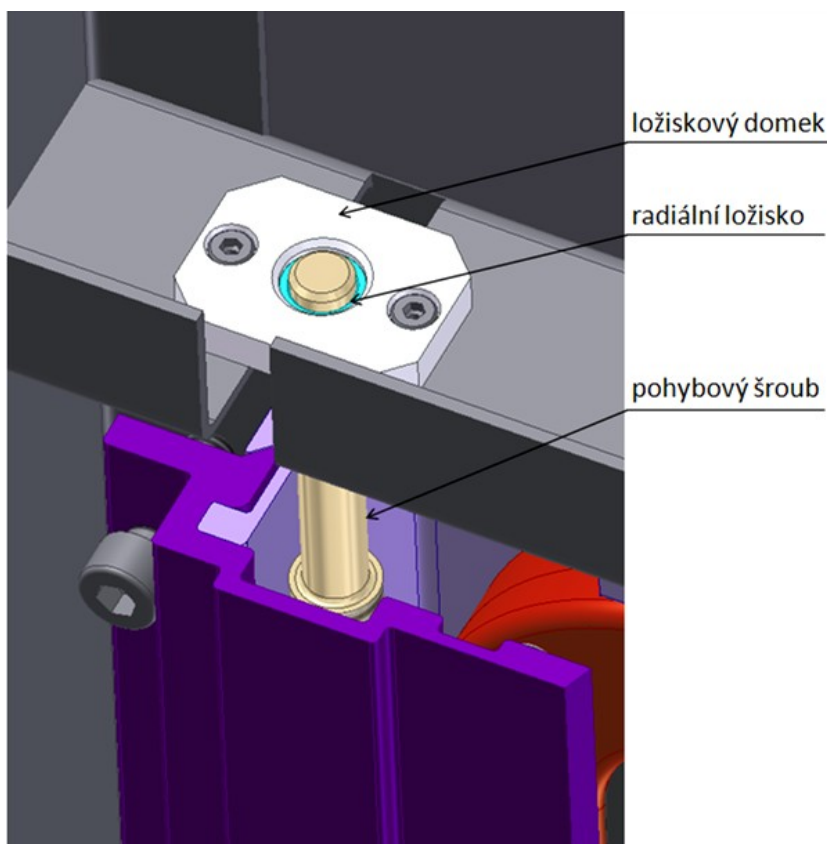


Obr. 5.3 3D model upevněné pohybové matice a šroubu



Obr. 5.4 Umístění matice v zabudovaném rámu se sklem

Nahoře je šroub umístěn v radiálním ložisku, které leží na profilu hrubé stavby vlaku. Polohu ložiska a tedy i samotného šroubu vymezuje ložiskový domek.



Obr. 5.5 Uložení pohybového šroubu v radiálním ložisku

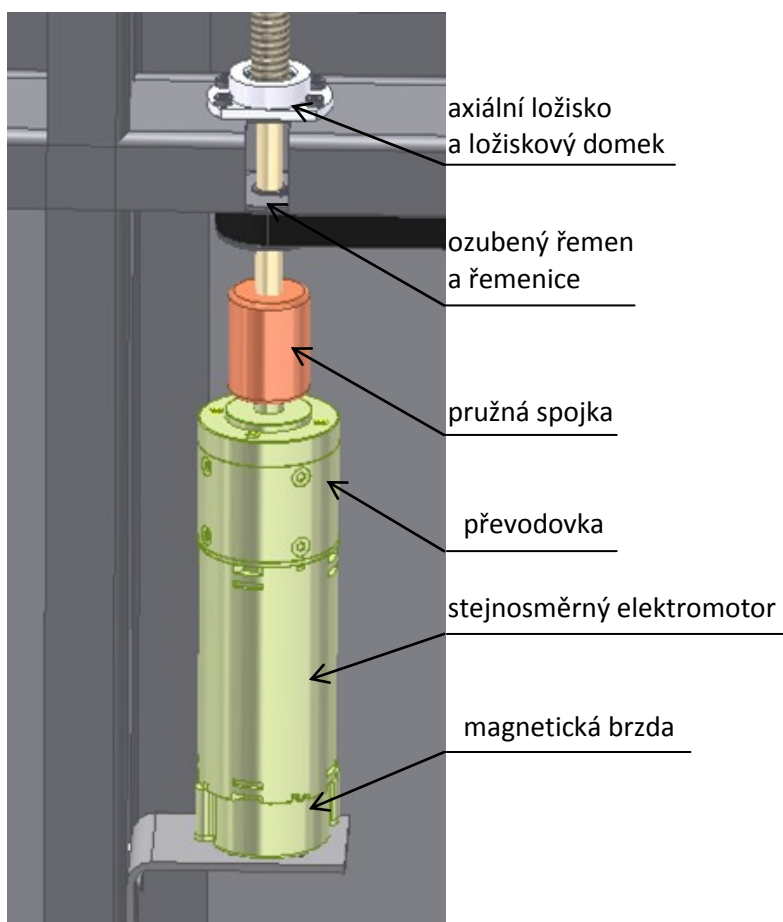
## POHON A PŘEVOD OTÁČENÍ

Důležitým konstrukčním uzlem návrhu je pohon pohybových šroubů, který zajišťuje stejnosměrný elektromotor malých rozměrů. Součástí motoru jsou také převodová skříň a brzda, které zajišťují požadovaný pracovní cyklus. Obě přídatné komponenty jsou navrženy výrobcem jako příslušenství k danému elektromotoru, takže si navzájem elektricky i rozměrově vyhovují.

Nastavené otáčky se přenáší na šroub pomocí pružné spojky.

Za spojkou je na šroubu nasazena řemenice pomocí těsného pera. Proti vertikálnímu posuvu je řemenice zajištěna pojistnými kroužky. Řemenice přenáší otáčivý pohyb na druhý šroub pomocí ozubeného řemene.

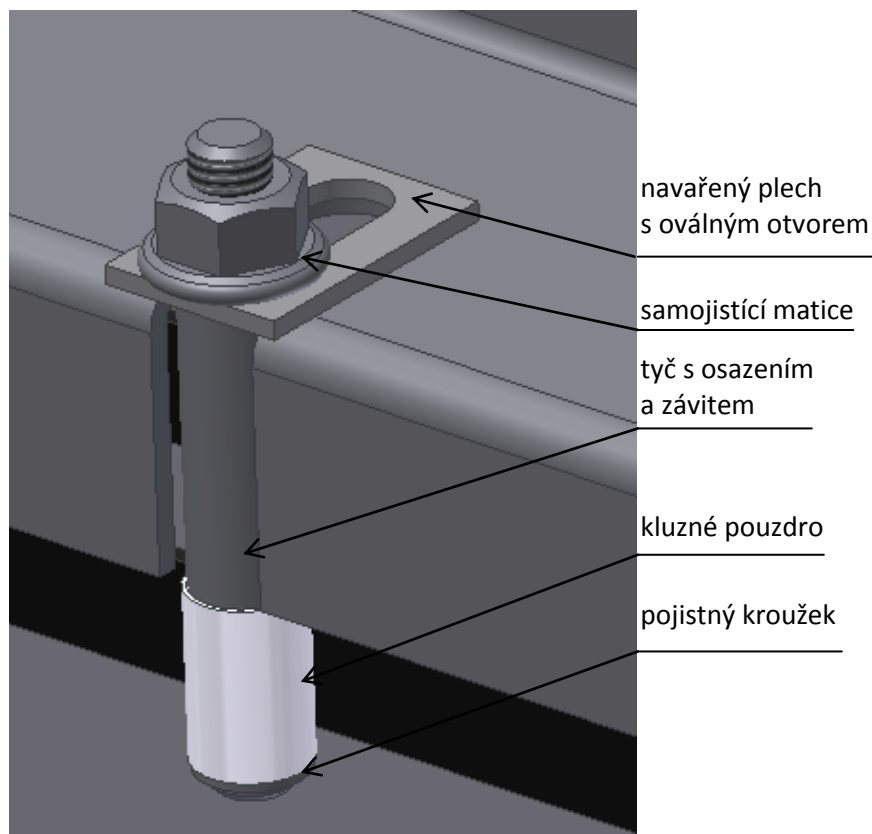




Obr. 5.6 Pohon pohybového šroubu s dalšími komponenty přenášející otáčivý pohyb

## NAPÍNÁNÍ ŘEMENE

Možnost napnutí ozubeného řemene umožňuje jednoduchý mechanismus, který se nachází nad řemenem a je upevněn na profilu hrubé stavby vlaku. Jedná se o osazenou tyč, která má v dolní části nasazené kluzné ložisko, které se odvaluje po pohybujícím se řemeni. Polohu tyče zajišťuje samojistící matice, která je našroubována na závitu tyče. Vymezený prostor pro pohyb tyče vymezuje oválný otvor v plechu přivařeném k profilu hrubé stavby.



Obr. 5.7 Napínání ozubeného řemene

## 5.2 ČÁST VÝPOČTOVÁ

### VOLBA POHYBOVÉHO ŠROUBU

K výběru vhodného elektromotoru je nutné znát typ závitové tyče, kterou bude pohánět. S ohledem na tloušťku okenní tabule a nebezpečí vzpěru byla zvolena závitová tyč s lichoběžníkovým závitem o průměru 14 mm. Aby bylo zamezeno vzpříčení tabule, byl použit převod otáčení ozubeným řemenem.

### VÝPOČET HODNOT NUTNÝCH K URČENÍ TYPU ELEKTROMOTORU

Výpočty byl provedeny dle [16].

$$m_{\text{okno}} = 8 \text{ [kg]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$f_{\text{tēs}} = 0,5 \text{ [–]}$$

$$a = 0,2 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$f_{TZ} = 0,15 [-]$$

$$v_1 = 0,1 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$i_M = 4 [\text{ks}]$$

$$\eta_{\text{ulož}} = 95 [\%]$$

Tabulka 5.1 Parametry pohybového šroubu [17]

Parametry pohybového šroubu Tr 14							
$d_{TR}$	$d_{2TR}$	$d_{3TR}$	$D_{1TR}$	$p$	$n_{CHODY}$	$\alpha_{TR}$	$R_{eTR}$
14 [mm]	12,5 [mm]	10,5 [mm]	11 [mm]	3 [mm]	3 [-]	30 [°]	300 [MPa]

**Úhlová rychlost závitové tyče při šroubovém pohybu:**

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_1}{P_h} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_1}{p \cdot n_{CHODY}} [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5.1)$$

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,1}{0,003 \cdot 3} = 69,811 [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde  $v_1$  je zadaná rychlost vysouvání okna [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$p$  je rozteč zvoleného závitu [mm]

$n_{CHODY}$  je počet chodů zvoleného závitu [-]

$P_h$  je stoupání závitu [mm]

**Otáčky závitové tyče při šroubovém pohybu:**

$$n_1 = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} [\text{min}^{-1}] \quad (5.2)$$

$$n_1 = \frac{69,811}{2 \cdot \pi} = 11 [\text{ot} \cdot \text{s}^{-1}] = 666,666 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$$

**Tíhová síla okenní tabule s přidávanými prvky:**

$$G = m_{0kno} \cdot g [\text{N}] \quad (5.3)$$

$$G = 8 \cdot 9,81 = 78,480 [\text{N}]$$

kde  $m$  je hmotnost pohybujících se částí prvky [kg]

**Třecí síla mezi okenní tabulí a těsněním:**

$$T = G \cdot f_{tēs} [\text{N}] \quad (5.4)$$

$$T = 78,48 \cdot 0,5 = 39,240 [\text{N}]$$

kde  $f_{t\acute{e}s}$  je koeficient tření mezi sklem a těsněním [–]

#### **Setrvačná síla okenní tabule:**

$$F_{setr} = m_{okno} \cdot a \text{ [N]} \quad (5.5)$$

$$F_{setr} = 8 \cdot 0,2 = 1,600 \text{ [N]}$$

kde  $a$  je zvolené zrychlení okenní tabule [ $m \cdot s^{-2}$ ]

#### **Celková síla působící na všechny matice:**

$$F_c = G + T + F_{setr} \text{ [N]} \quad (5.6)$$

$$F_c = 78,48 + 39,24 + 1,6 = 119,320 \text{ [N]}$$

#### **Redukovaný třecí úhel v trapézovém závitu:**

$$\varphi'_{TR} = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_{TZ}}{\cos \frac{\alpha_{TR}}{2}}\right) [^\circ] \quad (5.7)$$

$$\varphi'_{TR} = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,15}{\cos \frac{30^\circ}{2}}\right) = 8,827 [^\circ]$$

kde  $\alpha_{TR}$  je úhel profilu trapézového závitu [ $^\circ$ ]

#### **Úhel stoupání trapézového závitu:**

$$\psi_{TR} = \operatorname{arctg}\left(\frac{p \cdot n_{CHODY}}{\pi \cdot d_{2TR}}\right) [^\circ] \quad (5.8)$$

$$\psi_{TR} = \operatorname{arctg}\left(\frac{3 \cdot 3}{\pi \cdot 12,5}\right) = 12,908 [^\circ]$$

kde  $d_{2TR}$  je střední průměr závitu TR14 [mm]

$$\varphi'_{TR} < \psi_{TR} \Rightarrow \text{šroub je nesamosvorný}$$

#### **Krouticí moment nutný k roztočení závitových tyčí v maticích:**

$$M_k = F_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi'_{TR} + \psi_{TR}) \cdot \left(\frac{d_{2TR}}{2}\right) \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (5.9)$$

$$M_k = 119,32 \cdot \operatorname{tg}(8,827^\circ + 12,908^\circ) \cdot \left(\frac{12,5}{2}\right) = 297,303 \text{ [N} \cdot \text{mm]} = \mathbf{0,297 \text{ [N} \cdot \text{m]}}$$

**Výkon elektromotoru:**

$$P_1 = \frac{M_k \cdot \omega_1}{\eta_{ulož}} \text{ [W]} \quad (5.10)$$

$$P_1 = \frac{0,297 \cdot 69,811}{0,95} = \mathbf{21,847 \text{ [W]}}$$

kde  $\eta_{ulož}$  je účinnost zohledňující uložení pohybového šroubu [–]

**Kroutící moment pro jednu matici:**

$$M_{k1} = \frac{F_c}{i_M} \cdot \operatorname{tg}(\varphi'_{TR} + \psi_{TR}) \cdot \left(\frac{d_{2TR}}{2}\right) \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (5.11)$$

$$M_{k1} = \frac{119,32}{4} \cdot \operatorname{tg}(8,827^\circ + 12,908^\circ) \cdot \left(\frac{12,5}{2}\right) = 74,325 \text{ [N} \cdot \text{mm]} = 0,074 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

kde  $i_M$  je počet matic [–]

**ELEKTROMOTOR**

Dle vypočteného kroutícího momentu a výkonu byl vybrán stejnosměrný elektromotor GR51x30 s parametry uvedenými v tabulce 5.2, více informací o tomto typu pohonu se nachází v příloze D.

Tabulka 5.2 Parametry elektromotoru [18]

DC motor GR51x30	
<b>napětí</b>	24 [V]
<b>výkon</b>	40 [W]
<b>kroutící moment</b>	0,1 [Nm]
<b>otáčky</b>	3600 [min <sup>-1</sup> ]

K tomuto motoru byla vybrána převodová skříň PLG52 s převodovým poměrem  $i = 4,5$  [–], viz příloha E. Jednoduchým výpočtem vyjde nová rychlost otáčení pohybového šroubu:

$$n = \frac{3600}{4,5} = 800 \text{ [min}^{-1}\text{]}.$$

Změnou otáček šroubu se mění i rychlost stahování okna podle vztahu:

$$v = P_h \cdot n = p \cdot n_{CHODY} \cdot n \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (5.12)$$

$$v = \frac{(3 \cdot 3)}{1000} \cdot \frac{800}{60} = 0,12 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

**Doba stažení / vytažení okna je tedy:**

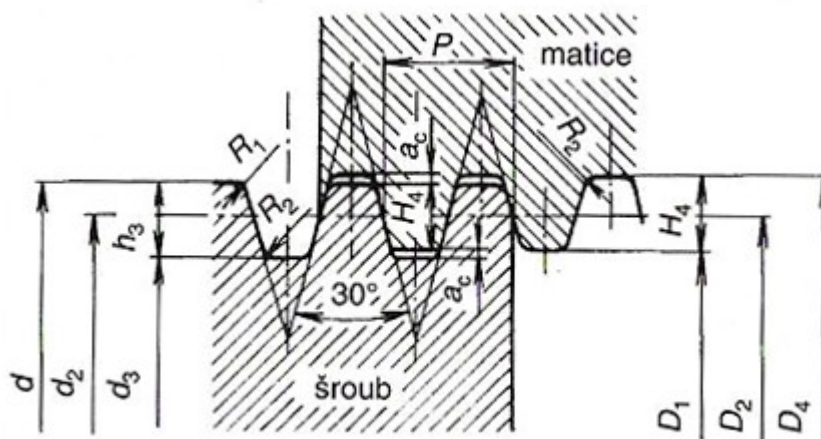
$$h_{\text{stah}} = 0,5 \text{ [m]}$$

$$t = \frac{h_{\text{stah}}}{v} \text{ [s]} \quad (5.13)$$

$$t = \frac{0,5}{0,12} = 4,166 \text{ [s]}$$

kde  $h_{\text{stah}}$  je hloubka stáhnutí okna [m]

#### KONTROLA ZÁVITU ZVOLENÉHO ŠROUBU



Obr. 5.8 Grafické znázornění rozměrů spojených závitů šroubu a matice [17]

Výpočty byly provedeny dle [16].

$$F_c = 119,32 \text{ [N]}$$

$$M_{k1} = 0,074 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

**Moment odporu průřezu proti krutu:**

$$W_{\text{KTR}} = \frac{\pi}{16} \cdot d_{3\text{TR}}^3 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.14)$$

$$W_{\text{KTR}} = \frac{\pi}{16} \cdot 10,5^3 = 227,299 \text{ [mm}^3\text{]}$$

kde  $d_{3TR}$  je malý průměr závitu Tr14 [mm]

**Namáhání šroubu v krutu** (umístěn ve dvou maticích):

$$\tau_{TR} = \frac{M_{K1} \cdot 2}{W_{KTR}} \text{ [MPa]} \quad (5.15)$$

$$\tau_{TR} = \frac{74,325 \cdot 2}{227,299} = 0,653 \text{ [MPa]}$$

**Namáhání v tahu** (umístěn ve dvou maticích):

$$\sigma_{tTR} = \frac{\frac{F_c}{2}}{\pi \cdot \left(\frac{d_{3TR}}{2}\right)^2} \text{ [MPa]} \quad (5.16)$$

$$\sigma_{tTR} = \frac{\frac{119,32}{2}}{\pi \cdot \left(\frac{10,5}{2}\right)^2} = 0,688 \text{ [MPa]}$$

**Redukované napětí podle Guestovy hypotézy:**

$$\sigma_{redTR} = \sqrt{\sigma_{tTR}^2 + 4 \cdot \tau_{TR}^2} \text{ [MPa]} \quad (5.17)$$

$$\sigma_{redTR} = \sqrt{0,688^2 + 4 \cdot 0,653^2} = 1,478 \text{ [MPa]}$$

**Bezpečnost navrženého šroubu:**

$$k_{STR} = \frac{R_{eTR}}{\sigma_{redTR}} [-] \quad (5.18)$$

$$k_{STR} = \frac{300}{1,478} = \mathbf{202,923} [-]$$

kde  $R_{eTR}$  je mez pružnosti závitové tyče [MPa]

**Zhodnocení výběru pohybového šroubu**

Výše navržený a pevnostně zkontrolovaný šroub je mnohonásobně předimenzovaný, a to z důvodu větší tuhosti, stability při točení a požadavku velkého stoupání závitu.

**Minimální výška matice**

Výpočty provedeny dle [16].

$$F_c = 119,32 \text{ [N]}$$

$$p_{DTR} = 15 \text{ [MPa]}$$


---

**Nosná hloubka závitu:**

$$H_1 = \frac{d_{TR} - D_{1TR}}{2} \text{ [mm]} \quad (5.19)$$

$$H_1 = \frac{14 - 11}{2} = 1,5 \text{ [mm]}$$

kde  $d_{TR}$  je jmenovitý rozměr závitu [mm]  
 $D_{1TR}$  je velký průměr závitu matice [mm]

**Potřebný počet závitů matice:**

$$z \geq \frac{\frac{F_c}{i}}{\pi \cdot d_{2TR} \cdot H_1 \cdot p_{DTR}} [-] \quad (5.20)$$

$$z \geq \frac{\frac{119,32}{4}}{\pi \cdot 12,5 \cdot 1,5 \cdot 15} = 0,033 [-]$$

kde  $p_{DTR}$  je dovolený měrný tlak v závitech pohybového šroubu [MPa]

**Minimální výška matice:**

$$h_M = z \cdot P_h = z \cdot p \cdot n_{CHODY} \text{ [mm]} \quad (5.21)$$

$$h_M = 0,033 \cdot 3 \cdot 3 = \mathbf{0,304 \text{ [mm]}}$$

Díky malým zatěžujícím silám jsou výsledné hodnoty počtu závitů a výšky matice velice malé a nereálné. Ve výsledném řešení je použita výška matice  $h_M = 18 \text{ mm}$ .

## KONTROLA TYČE NA VZPĚŘ

Výpočty provedeny dle [17].

$$L = 645 \text{ [mm]}$$

$$E = 210\,000 \text{ [MPa]}$$


---

**Kvadratický moment průřezu:**

$$I = \frac{\pi \cdot d_{3TR}^4}{4} \text{ [mm}^4\text{]} \quad (5.22)$$



$$I = \frac{\pi \cdot 10,5^4}{4} = 596,660 \text{ [mm}^4\text{]}$$

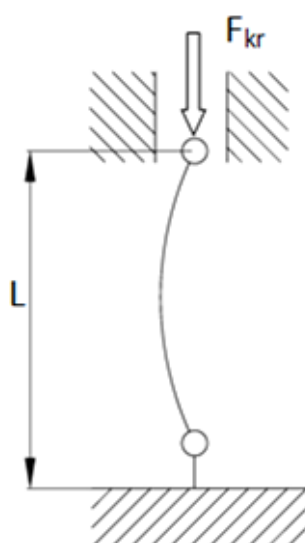
**Kritická síla:**

$$F_{kr} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \text{ [N]} \quad (5.23)$$

$$F_{kr} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 596,660}{645^2} = 5945,066 \text{ [N]}$$

kde E je modul pružnosti oceli [MPa]

L je volná délka šroubu [mm]



Obr. 5.9 Kinematické schéma hrozícího vzpěru tyče se znázorněním kritické síly [17]

## KONTROLA ŠROUBŮ DRŽÍCÍCH POHYBOVOU MATICI

Šrouby byly zkontrolovány analogicky podle vztahů 4.5 až 4.15. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.4. Výpočty byly provedeny se zadanými hodnotami:

$$m_{1/80kno} = 1 \text{ [kg]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$f_1 = 0,2 \text{ [-]}$$

$$f_{TZ} = 0,15 \text{ [-]}$$

$$f_M = 0,17 \text{ [-]}$$

Tabulka 5.3 Parametry šroubu [17]

Parametry šroubu M4							
$d_{\text{metr}}$	$d_{2\text{metr}2}$	$d_{3\text{metr}2}$	$P_{\text{hmetr}2}$	$\alpha_{\text{metr}}$	$R_{\text{emetr}2}$	$D_{\text{dmetr}2}$	$S_{\text{Kmetr}2}$
4 [mm]	3,54 [mm]	3,14 [mm]	0,7 [mm]	60 [°]	640 [MPa]	4,5 [mm]	7 [mm]

Tabulka 5.4 Vypočtené hodnoty ke kontrolovanému šroubu

Veličina	výsledek	jednotka
$F_{o1\min}$	0,981	[N]
$F_{o\text{metr}2}$	1000	[N]
$\varphi'_{\text{metr}2}$	6,587	[°]
$\psi_{\text{metr}2}$	3,596	[°]
$M_{TZ\text{metr}2}$	1,679	[N·m]
$M_{TM\text{metr}2}$	0,287	[N·m]
$M_{U\text{metr}2}$	1,967	[N·m]
$W_{K\text{metr}2}$	17,892	[mm <sup>3</sup> ]
$\tau_{\text{metr}2}$	93,879	[MPa]
$\sigma_{t\text{metr}2}$	129,055	[MPa]
$\sigma_{red\text{metr}2}$	207,593	[MPa]
$k_{s\text{metr}2}$	3,082	[–]

## KONTROLA AXIÁLNÍHO LOŽISKA

Axiální ložisko, ve kterém se otáčí pohybový šroub, bylo vybráno z katalogu SKF a následně spočítána jeho životnost pomocí výpočtového programu. Konkrétní typ ložiska je uveden na obrázku 5.10.

Unosnosti		Mezní únavové zatížení $P_t$	Součinitel minimálního zatížení $A$	Přípustné otáčky	
dynamická	statická			Referenční otáčky	Mezní otáčky
$C$	$C_0$				
kN		kN	-	$\text{min}^{-1}$	
9,95	15,3	0,56	0,0012	9500	13000

Obr. 5.10 Výňatek z katalogu ložisek se zobrazením vybraného axiálního ložiska [19]

Ložisko 51100

Zvolit  $\eta_c$  0.2

$d$  [mm] 10

$D$  [mm] 24

$C$  [kN] 9.95

$P_u$  [kN] 0.56

$P$  [kN] 0.200

$n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] 1000

$v$  [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ] 41.8

$\kappa$  1.42

$v_1$  29.4

$a_{SKF}$  7.67

Starší způsob s  $a_{23}$  pro porovnání

$a_{23}$  1.26

$L_{10}$  123100

$L_{10h}$  > 1000000

$L_{10m}$  945000

$L_{10mh}$  > 1000000

$L_{10a}$  155500

$L_{10ah}$  > 1000000

Obr. 5.11 Obrazovka výpočtového programu firmy SKF pro axiální ložisko daného typu [19]

## **Závěr**

Do výpočtového programu byly zadány vyšší hodnoty zatížení:

$$P_{SKF} = 200 \text{ [N]}$$

$$n_{SKF} = 1000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

kde  $P_{SKF}$  je axiální zatížení na ložisko [N]  
 $n_{SKF}$  je kontrolovaný počet otáček ložiska [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

Vybrané ložisko vyhovuje požadovanému zatížení s velmi vysokou trvanlivostí:

$$L_{10} = 123100 \text{ [10}^6 \text{ ot]}$$

$$L_{10h} > 1000000 \text{ [hod]}$$

kde  $L_{10}$  je trvanlivost ložiska vyjádřená v milionech otáček [ $10^6$  ot]  
 $L_{10h}$  je trvanlivost ložiska vyjádřená v hodinách [hod]

## **KONTROLA OZUBENÉHO ŘEMENE**

Řemen a řemenice byly vybrány z obsahového centra programu Autodesk Inventor. V témže programu v modulu Design Accelerator byly tyto součásti pevnostně zkontrolovány s patřičnou bezpečností. Zadány byly tyto hodnoty:

$$P = 100 \text{ [W]}$$

$$n = 1000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

$$c_p = 1,6 \text{ [-]}$$

$$\eta = 0,95 \text{ [-]}$$

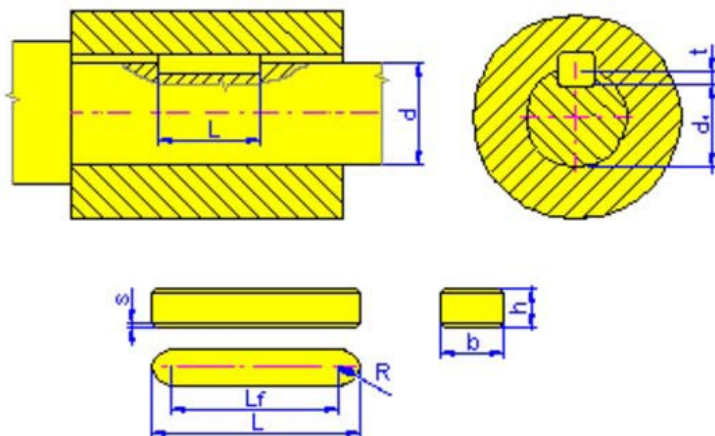
kde  $P$  je výkon na hnané řemenici [W]  
 $n$  je počet otáček řemenic [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]  
 $c_p$  je provozní součinitel pro stav s lehkými rázy 3 ÷ 8 hodin denně [-]  
 $\eta$  je účinnost převodu [-]

## **Závěr**

Navržený převod vyhovuje pevnostnímu výpočtu. Kompletní protokol o kontrole je v příloze H.

## KONTROLA TĚSNÉHO PERA

Výše popsané řemenice jsou na pohybovém šroubu upevněny pomocí těsného pera. Tato součást byla také vybrána z obsahového centra programu Autodesk Inventor a vypočtena v modulu Design Accelerator. Zadáno bylo:



Obr. 5.12 Animace spojení perem vygenerovaná pomocí Autodesk Inventor

$P = 100$  [W]  
 $n = 1000$  [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $b = 6$  [mm]  
 $h = 4$  [mm]  
 $l = 14$  [mm]

kde  $P$  je výkon na hnané řemenici [W]  
 $n$  je počet otáček řemenic [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]  
 $b$  je šířka pera [mm]  
 $h$  je výška pera [mm]  
 $l$  je délka pera [mm]

### Závěr

Navržené spojení perem vyhovuje pevnostnímu výpočtu. Kompletní protokol o kontrole je v příloze I.

## Možnost otevření / zavření okna bez přívodu elektřiny

Ověření podmínky ovládání bez elektrické energie bylo provedeno pomocí vztahů 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 a 5.9, kde byl místo kroutícího momentu motoru dosazen brzdny moment na brzdě. Zpětně bylo možno zjistit zatěžující sílu k překonání brzdy. Výpočty byly provedeny v programu MS Excel a výsledky jsou v tabulce 5.5.

Tabulka 5.5 Vypočtené hodnoty s vyznačenou zátěží k překonání brzdného momentu

Veličina	výsledek	jednotka
$M_{\text{brzdny}}$	1,8	[N·m]
$F_{c2}$	722,631	[N]
$F_{\text{setr}2}$	9,69	[N]
$T_2$	237,647	[N]
$G_2$	475,294	[N]
$m_{\text{extrem}}$	48,45	[kg]

kde  $M_{\text{brzdny}}$  je brzdny moment brzdy  
 $m_{\text{extrem}}$  je extrémní hmotnost působící na mechanismus

## Závěr

Zatěžující síla musí být velká minimálně 484,5 N. Odečtením vlastní tíhové síly okna lze předpokládat, že lidská síla musí být velká minimálně 404 N, aby překonala brzdu na motoru. Konkrétní údaje o brzdě jsou v příloze F.

## 6 ZÁVĚR

V této diplomové práci je řešena problematika oken kolejových vozů. Konkrétním zadáním ke konstrukčnímu řešení bylo elektricky spouštěcí okno stanoviště řidiče. Úvodní část práce seznamuje čtenáře s kolejovými vozy a typy používaných oken. Dále se tato část zaměřuje na provozní vlivy, kterým musí okna, tedy i celý vůz, odolávat.

Na základě poznatků o funkci oken byl sestaven požadavkový list, který vycházel zejména z oficiálního zadání a z odborných norem. Další část práce popisuje snahu o docílení těchto požadavků. Nejprve se řešil vhodný mechanismus pro výsuv okenní tabule, podle výhod či nevýhod jednotlivých variant byla vybrán nejlepší mechanismus. Stejným stylem volby bylo řešeno boční vedení a způsob aretace.

K vysouvání byly zvoleny pohybové šrouby vázané na boční části okenní tabule. Boční vedení je zajištěno pomocí kluzného materiálu ZEDEX 100. Aretaci v určené poloze zajišťuje magnetická brzda, která je součástí elektromotoru. Součástí elektromotoru je také převodová skříň.

Konkrétní řešení bylo podrobně popsáno a doplněno nezbytnými výpočty. Nejprve bylo nutné zjistit tloušťku okenní tabule, na kterou navazují ostatní součásti. Tato záležitost se vyřešila tepelným výpočtem, kterým se muselo dokázat, že zvolené sklo nemá sklon k orosení. Poměrně důležitou částí práce je uchycení k hrubé stavbě, což je provedeno pomocí vnějšího a vnitřních rámců a další přitlačných a pojistných elementů. Popis vysouvacího mechanismu byl popsán konkrétně v samostatné kapitole.

Navržené konstrukční uzly jsou podrobně popsány a prověřeny buď ručním výpočtem, nebo pomocí výpočtových programů a MKP analýzy. Provedeny byly také vizualizace s pomocí Workbench Human Builder pro lepší představu o lidském činiteli v kontaktu s navrženým oknem.

DP je přínosem pro odvětví kolejových vozů, neboť neexistuje alternativní řešení elektricky stahovacího okna ve vlaku. S malými změnami rozměrů lze sestavu okna aplikovat do různých typů vozů.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu doc. Dr. Ing. Ladislavu Kovářovi za odborné a důsledné vedení této diplomové práce. Dále si velice vážím firmy Siemens, konkrétně Divize Mobility v Ostravě, kde mi byly poskytnuty odborné materiály a hlavně cenné rady profesionálů.



## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MÜLLER, Jaroslav. *Mobilní prostředky a trakční zařízení : I. díl*. Ostrava : VŠB, 1998. 64 s. ISBN 80-7078-452-0.
- [2] Železničář 2011. *České dráhy, a.s.* [online]. c 2008 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: [http://www.ceskedrahy.cz/assets/tiskove-centrum/magaziny-a-periodika/zeleznicar/38\\_11\\_web.pdf](http://www.ceskedrahy.cz/assets/tiskove-centrum/magaziny-a-periodika/zeleznicar/38_11_web.pdf)
- [3] Přednášky firmy Siemens v rámci předmětu Konstrukce moderních kolejových vozidel
- [4] City Elefant. *Technet* [online]. 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/city-elefant-pantograf-ktery-je-lepsi-nez-pendolino-fhw-/tec\\_technika.aspx?c=A080406\\_170731\\_tec\\_technika\\_rja](http://technet.idnes.cz/city-elefant-pantograf-ktery-je-lepsi-nez-pendolino-fhw-/tec_technika.aspx?c=A080406_170731_tec_technika_rja)
- [5] Prospektové CD firmy Pars Komponenty
- [6] TNŽ 285311. *Okna osobních vozů rozchodu 1435 mm*. Praha: Výzkumný ústav kolejových vozidel, 1988. 8 s.
- [7] TNŽ 285201. *Kolejová vozidla železniční. Kabina strojvedoucího*. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 1990. 39 s.
- [8] ČSN 13 129-1. *Železniční aplikace - Klimatizace pro vozidla hlavních tratí : Část 1: Parametry pohodlí*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 24 s.
- [9] UIC 564-1. *Reisezugwagen-Sicherheitsglas*. Paris : Internationaler Eisenbahnverband, 1990. 11 s.
- [10] Distanční rámečky transparentních prvků a jejich vzájemná interakce se součinitelem prostupu okna Uw. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/6386-distancni-ramecky-transparentnich-prvku-a-jejich-vzajemna-interakce-se-soucinitelem-prostupu-okna-uw>
- [11] Izolační dvojskla a trojskla. *Oknoservis* [online]. 2010 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.dvere-okna-plastova-hlinikova.cz/plastove-dvere/izolacni-skla-dvojskla-a-trojskla/>
- [12] Technický výkres Widney Lidonga
- [13] Teleskopické výsuvy-lehká zátěž do 50 kg. *Heyman* [online]. [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.heyman.cz/teleskopicke-vysuvy/lehka-zatez-do-50-kg.html>

- [14] ZEDEX 100: Wolko-plast s.r.o.: plastová kluzná ložiska a vedení. *Wolko-plast s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.wolkoplast.cz/cs/material-zedex/1-zedex-100/>
- [15] Koncentrace inertního plynu ve vztahu k Ug. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/6425-koncentrace-inertniho-plynu-ve-vztahu-k-ug>
- [16] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [17] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky – třetí doplněné vydání*. Albra Úvaly, 2006. ISBN 80-7361-033-7
- [18] Brushed DC motors GR/G. *Dunkenmotoren* [online]. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?gid=6&bid=10&cid=0&sid=0&lang=2&id=9&mid=116>
- [19] Thrust ball bearings. *SKF* [online]. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: [http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=18\\_3](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=18_3)
- [20] Mikrospínač ZIPPY DM-03S-2P-Z. *GM electronic* [online]. 2012 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/mikrospinace-do-dps/mikrospinac-zippy-dm-03s-2p-z-p630-033/#popis>
- [21] Katalog nýtovacích matic firmy Titgemeyer
- [22] SRJ30-C - pružná spojka 8Nm svěrná. *CNC shop* [online]. 2010 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/srj30-c-pruzna-spojka-8nm-sverna>

## SEZNAM PŘÍLOH

### Katalogové listy:

- A. ZEDEX® 100
- B. Nýtovací matice
- C. Mikrospínač
- D. Elektromotor
- E. Převodová skříň
- F. Brzda
- G. Spojka

### Výpočtové zprávy:

- H. Ozubený řemen
- I. Těsné pero
- J. MKP analýza pojistné konzoly

### Technická dokumentace:

- K. MUZ034\_2012\_1S, MUZ034\_2012\_1K
- L. MUZ034\_2012\_2S
- M. MUZ034\_2012\_3S
- N. MUZ034\_2012\_4
- O. MUZ034\_2012\_5
- P. MUZ034\_2012\_6
- Q. MUZ034\_2012\_7
- R. MUZ034\_2012\_8
- S. MUZ034\_2012\_9
- T. MUZ034\_2012\_10
- U. MUZ034\_2012\_11
- V. MUZ034\_2012\_12
- W. MUZ034\_2012\_13